

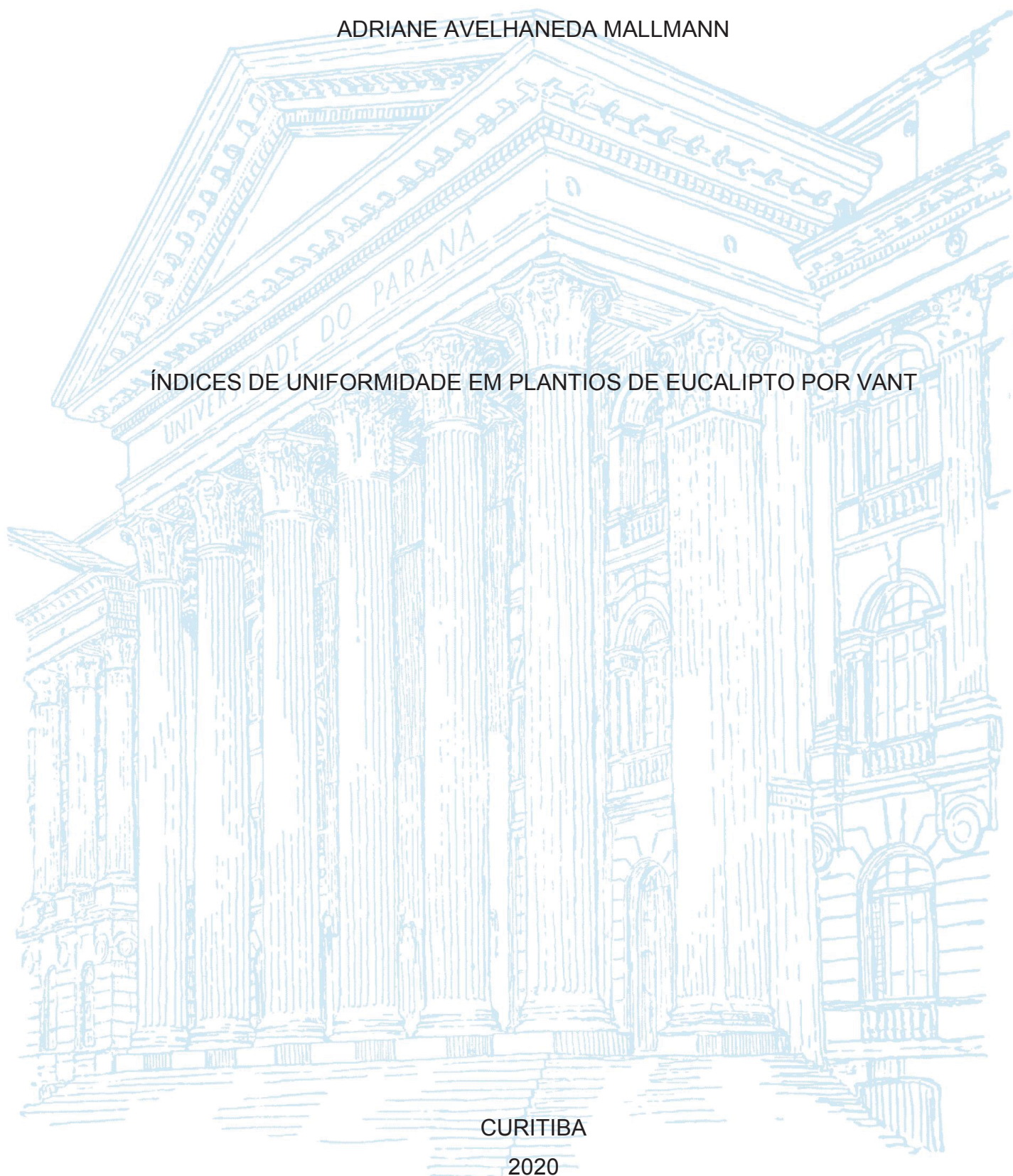
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANE AVELHANEDA MALLMANN

ÍNDICES DE UNIFORMIDADE EM PLANTIOS DE EUCALIPTO POR VANT

CURITIBA

2020



ADRIANE AVELHANEDA MALLMANN

ÍNDICES DE UNIFORMIDADE EM PLANTIOS DE EUCALIPTO POR VANT

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Paula Dalla Corte

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Behling e Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Mallmann, Adriane Avelhaneda

Índices de uniformidade em plantios de eucalipto por VANT / Adriana Avelhaneda Mallmann. - Curitiba, 2020.

88 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Behling

Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 18/02/2020.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Eucalipto - Cultivo. 2. Fotogrametria aérea. 3. Levantamentos florestais. 4. Drone. 5. Sensoriamento remoto. 6. Teses. I. Dalla Corte, Ana Paula. II. Behling, Alexandre. III. Sanquetta, Carlos Roberto. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.58

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ADRIANE AVELHANEDA MALLMANN** intitulada: **ÍNDICES DE UNIFORMIDADE EM PLANTIOS DE EUCALIPTO POR VANT**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Fevereiro de 2020.



ALEXANDRE BEHLING

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



DIEGO TYSZKA MARTINEZ

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



VAGNER ALEX PESCK

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João Adelir Mallmann e Maria Odete Avelhaneda Mallmann, pelo amor, conselhos, apoio e suor diário que tem me possibilitado o estudo. Amo muito vocês.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Ana Paula Dalla Corte e aos meus coorientadores, Prof. Dr. Alexandre Behling e Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta, pelas orientações, ensinamentos, e confiança depositada em mim, vocês foram fundamentais na realização desse trabalho.

Em especial ao Prof. Dr. Alexandre Behling pela grande contribuição na etapa final desse projeto. Ao Gabriel Agostini Orso, ao Hudson Veras e à Aline Bernarda Debastiani por compartilharem seus conhecimentos e pelo apoio, incentivo e carinho.

A empresa Klabin S.A. pela disponibilização de dados e imenso apoio na realização deste trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

Aos meus colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que se disponibilizaram a me ajudar e que de alguma forma contribuíram com a minha qualificação profissional.

O sucesso da empreitada científica pode com frequência nos cegar diante do extraordinário fato de que a ciência faz sentido. Embora a maioria das pessoas considere isso óbvio, é, incrivelmente bom, e ao mesmo tempo misterioso o fato de sermos capazes de entender as obras da natureza através do método científico.

(DAVIES (1992), *The Mind of God*, p. 148).

RESUMO

Estudos têm demonstrado que a uniformidade dos plantios florestais está diretamente correlacionada com a produtividade e que medidas de uniformidade podem servir de indicadores da qualidade silvicultural dos plantios. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo determinar a uniformidade e a sobrevivência em plantios jovens de *Eucalyptus* sp. por meio do uso de atributos obtidos de sensores passivos embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulado (VANTs). Foram estudados dois plantios clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e um plantio de *Eucalyptus saligna*, todos com um ano de idade. No inventário florestal de qualidade (IFQ), foram medidas as alturas das árvores, além de serem quantificadas as falhas de plantio. Das imagens oriundas dos voos VANT foram obtidos Modelos Digitais do Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortofotos. Sobre as ortofotos foram identificadas as falhas de plantios em todas as áreas produtivas (censo) e em parcelas de 1ha. O censo de falhas foi utilizado para gerar a superfície de falhas por meio do método Kernel (SFk) e as falhas das parcelas VANT e IFQ foram utilizadas para a estimativa da sobrevivência por meio do modelo de razão. Também sobre as ortofotos foram delimitadas as copas das árvores por fotointerpretação. O Modelo de altura de copas (CHM) foi obtido da subtração MDS-MDT, do qual foram extraídas as alturas das árvores para duas intensidades amostrais. A uniformidade dos plantios foi obtida por meio dos índices de uniformidade (IU): PV50 (percentual acumulado variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores); CV% (coeficiente de variação em percentagem); e G (coeficiente de Gini). As estimativas de sobrevivência VANT não mostraram diferenças significativas das estimativas do IFQ ao nível de 1% de significância. As alturas extraídas do CHM se mostraram subestimadas em comparação com as alturas do IFQ. Desse modo, foi proposta a utilização de um fator de correção por classe de tamanho para estimar essas alturas. As alturas corrigidas VANT e as alturas do IFQ foram utilizadas para o cálculo dos IU, avaliados pelo teste X^2 , em que os IU obtidos por VANT não mostraram diferenças significativas dos obtidos do IFQ ao nível de 5% de significância. Desse modo, as alturas das demais parcelas VANT foram corrigidas e serviram de base para o cálculo dos IU para uma intensidade amostral maior. Os IU dos plantios foram espacializados e integrados, resultando em duas superfícies de uniformidade, SU e SUf, a primeira sendo resultado da média dos IU e a segunda da média dos IU e a SFk. Com a classificação das superfícies de uniformidade observou-se que o plantio de *E. saligna* foi o menos uniforme em comparação com os plantios de *E. grandis* x *E. urophylla* e que a adição da SFk permitiu a avaliação da uniformidade de modo mais condizente com a realidade dos plantios. Esses resultados sugerem que medidas de sobrevivência e uniformidade obtidas por VANT podem ser utilizadas em conjunto para a geração das superfícies de uniformidade e para a determinação das áreas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural.

Palavras-chave: Plantios de *Eucalyptus*. Estrutura do plantio. Uniformidade. Sobrevivência. Kernel.

ABSTRACT

Several studies have shown that forest stand uniformity is directly correlated to productivity, and that uniformity measures may act as indicators of the silvicultural quality of forest plantations. Thus, this work aimed to assess the uniformity and survival of young *Eucalyptus* sp. plantations using attributes obtained from passive sensors embedded in unmanned aerial vehicles (UAVs). To do that, two clonal stands of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and one stand of *Eucalyptus saligna* were studied. In the forest quality inventory (FQI), tree height was measured, and dead trees were quantified. From the images from the UAV flights resulted the Digital Terrain Models (DTMs), Digital Surface Models (DSMs) and orthomosaic photos. Over the orthomosaics the points of planting failure in all productive areas (census) were identified, as well as for 1ha plots. The mortality census was used to generate the failure surface using a Kernel strategy (KFS), and the UAV and (FQI) failures were used to estimate survival through a ratio estimate. The orthomosaic photos were also used to identify the crowns of the trees. The Canopy Height Model (CHM) was obtained subtracting DSM-DTM, from which tree heights were extracted at two sample intensities. The stand uniformity was calculated through uniformity indices (UI): PV50 (accumulated percentage dendrometric variable of interest in 50% of the smallest planted trees); CV% (coefficient of variation in percentage); and G (Gini coefficient). UAV survival estimates showed no significant differences with FQI estimates at 1% significance level. The tree heights extracted from the CHM were underestimated when compared to the heights obtained in the field. Thus, it was proposed to use a correction factor per size class to estimate those heights. UAV corrected heights and FQI heights were used to calculate the UIs, and were compared by means of a chi-square test, where the UIs obtained by the UAV did not show significant differences from the field UIs at the 5% significance level. Thus, the heights of the other UAV plots were corrected and served as the basis for the calculation of UIs for a higher sample intensity. The UIs were spatialized and integrated, resulting in two uniformity surfaces for the stands, US and USf, the first resulting from the average of the UIs and the second from the average of the UIs and KFS. The classification of uniformity surfaces showed that the *E. saligna* stand was the least uniform compared to *E. grandis* x *E. urophylla* stands, and the addition of KFS allowed a more reasonable assessment of the uniformity regarding the reality of the stands. These results suggest that survival and uniformity measures obtained via UAV can be combined to generate stand uniformity surfaces, as well as to determine priority areas in silvicultural management.

Keywords: *Eucalyptus* Plantations. Stand Structure. Uniformity. Survival. Kernel.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SEQUÊNCIA DE TRABALHO PARA A REALIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS	22
FIGURA 2 - FREQUÊNCIA DE ARTIGOS PUBLICADOS ANUALMENTE SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS....	25
FIGURA 3 - NÚMERO DE PÚBLICAÇÕES SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE NO PERÍODO DE 2002 A 2018, ORGANIZADOS POR REVISTA....	25
FIGURA 4 - NUVEM DE PALAVRAS COM BASE NAS 50 PALAVRAS-CHAVE MAIS FREQUENTES, UTILIZADAS PELOS AUTORES DAS PÚBLICAÇÕES SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE	26
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. UTILIZADOS NO ESTUDO, SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	50
FIGURA 6 – SEQUÊNCIA DE TRABALHO PARA A EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS VANT EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	53
FIGURA 7 - SEQUÊNCIA DE TRABALHO REALIZADA NO CENÁRIO II PARA DETERMINAR O GRAU DE UNIFORMIDADE DOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp., SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE ...	60
FIGURA 8 – ESPACIALIZAÇÃO DOS NDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO AIB (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	72
FIGURA 9 - ESPACIALIZAÇÃO DOS NDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO CCA (<i>E. saligna</i>) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	73
FIGURA 10 - ESPACIALIZAÇÃO DOS NDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO CFL (<i>E. grandis</i> X <i>E. urophylla</i>) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	74
FIGURA 11 - SUPERFÍCIES DE FALHAS KERNEL PADRONIZADAS GERADAS PARA INDICAR OS LOCAIS DE MAIOR E MENOR SOBREVIVÊNCIA EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	77

FIGURA 12 - SUPERFÍCIES DE UNIFORMIDADE SU E SUF OBTIDAS PARA PLANTIOOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUANDOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	79
FIGURA 13 - ESTATÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DE UNIFORMIDADE OBTIDAS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO- LESTE PARANAENSE	80
FIGURA 14 - CLASSES DE UNIFORMIDADE DOS PLANTIOS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS OBTIDAS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	81

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - FORMULAÇÕES DE BUSCA PARA LEVANTAMENTO DE PUBLICAÇÕES SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE NO CONTEXTO DOS PLANTIOS FLORESTAIS.....	21
QUADRO 2 - CONJUNTO DE ARTIGOS SELECIONADOS NO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS	24
QUADRO 3 - RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES E RESPECTIVOS LOCAIS DE ESTUDO, ÍNDICES DE UNIFORMIDADE, VARIÁVEIS E ESPÉCIES UTILIZADAS.	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS....	23
TABELA 2 - INFORMAÇÕES DOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. UTILIZADOS NO ESTUDO, LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE DO ESTADO DO PARANÁ	49
TABELA 3 - INFORMAÇÕES SOBRE AS PARCELAS DO IFQ INSTALADAS NOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	51
TABELA 4 - INFORMAÇÕES SOBRE OS VOOS VANT REALIZADOS EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	51
TABELA 5 – PARÂMETROS DE ENTRADA UTILIZADOS NO SOFTWARE ARCGIS PARA GERAR AS SUPERFÍCIES DE FALHAS DOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	55
TABELA 6 - PADRONIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA OS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp., SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	57
TABELA 7 - ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA POR IFQ E VANT OBTIDAS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	62
TABELA 8 - SOBREVIVÊNCIA E FALHAS NOS PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. A PARTIR DE CENSOS DE FALHAS OBTIDOS POR VANT	63
TABELA 9 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ALTURAS IFQ E VANT OBTIDAS EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	64
TABELA 10 - CLASSES DE TAMANHO, INTERVALOS E RAZÕES OBTIDAS COM BASE NAS ALTURAS EXTRAÍDAS POR VANT EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	65
TABELA 11 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ALTURAS VANT APÓS A APLICAÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO OBTIDO PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	65

TABELA 12 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE COM BASE NA VARIÁVEL ALTURA OBTIDA DO IFQ EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	66
TABELA 13 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS COM BASE NA VARIÁVEL ALTURA CORRIGIDA EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	66
TABELA 14 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS COM BASE NA VARIÁVEL ÁREA DE COPA EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	67
TABELA 15 - FREQUÊNCIA DE PARCELAS NAS CLASSES DOS ÍNDICES OBTIDOS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	68
TABELA 16 - RESULTADO DO TESTE χ^2 UTILIZANDO AS FREQUÊNCIAS DE PARCELAS NAS CLASSES DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE DE PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	69
TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA, ANTES E APÓS A CORREÇÃO, EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	70
TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE ANTES E APÓS A PADRONIZAÇÃO EM PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.....	70
TABELA 19 - ESTATÍSTICAS DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE PADRONIZADOS OBTIDOS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp., APÓS A GERAÇÃO DAS SUPERFÍCIES	75
TABELA 20 – ESTATÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DE FALHAS KERNEL ANTES E APÓS A PADRONIZAÇÃO, OBTIDAS PARA PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	77
TABELA 21 - CLASSES DE UNIFORMIDADE UTILIZADAS PARA CLASSIFICAR A UNIFORMIDADE DAS ÁREAS PRODUTIVAS DE PLANTIOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE	78

SUMÁRIO

1 ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA	16
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 ESTRUTURAÇÃO	18
2 MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS	19
2.1 INTRODUÇÃO	19
2.2 OBJETIVOS	20
2.2.1 Objetivo Geral	20
2.2.2 Objetivos Específicos	20
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.3.1 Levantamento Bibliográfico	20
2.3.2 Análise e Discussão das Publicações Científicas	22
2.4 RESULTADOS	23
2.4.1 Resultado do Levantamento Bibliográfico	23
2.4.2 Análise das Publicações Científicas	23
2.5 DISCUSSÕES	29
2.5.1 Medidas de Uniformidade	29
2.5.2 Importância da Obtenção de Medidas de Uniformidade Florestal	33
2.5.3 Uniformidade dos Plantios Florestais	35
2.5.3.1 Ambiente, genética e silvicultura	36
2.6 CONSIDERAÇÕES	43
3 OBTENÇÃO DE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO UTILIZANDO ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DE VOOS VANT	45
3.1 INTRODUÇÃO	45
3.2 HIPÓTESE	47
3.3 OBJETIVOS	47
3.3.1 Objetivo Geral	47
3.3.2 Objetivos Específicos	48
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.4.1 Área de Estudo	48

3.4.2 Objetos de Estudo	49
3.4.3 Obtenção de Dados.....	50
3.4.3.1 Inventário Florestal de Qualidade (IFQ).....	50
3.4.3.2 Obtenção de dados aéreos.....	51
3.4.4 Sobrevivência.....	53
3.4.4.1 Estimativa de sobrevivência	53
3.4.4.2 Superfícies de falhas	55
3.4.5 Medidas de Uniformidade Utilizadas	56
3.4.6 Obtenção de Medidas de Uniformidade: Cenários	58
3.4.6.1 Cenário I: medidas de uniformidade IFQ x VANT	58
3.4.6.2 Cenário II: medidas de uniformidade VANT	60
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
3.5.1 Sobrevivência.....	62
3.5.2 Obtenção de Medidas de Uniformidade	64
3.5.2.1 Cenário I: medidas de uniformidade IFQ x VANT	64
3.5.3 Cenário II: medidas de uniformidade VANT	69
3.6 CONCLUSÕES	82
3.7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2019), o Brasil possui cerca de 7,83 milhões de hectares de plantios florestais, compostos principalmente pelos gêneros *Eucalyptus* (72%) e *Pinus* (21%). O setor florestal brasileiro é reconhecido internacionalmente pelas rotações curtas e pela produtividade e de seus plantios, em que o incremento médio anual de madeira com casca em plantios de *Eucalyptus* sp. varia entre 40 e 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GONÇALVES et al., 2014). Graças às condições edafoclimáticas brasileiras, aos investimentos contínuos do setor em melhoramento genético e ao aprimoramento das atividades silviculturais, a produtividade florestal tem aumentado nas últimas décadas e manter esse crescimento é um desafio para o setor florestal (GONÇALVES et al., 2014).

A implantação de plantios monoclonais em extensas áreas por grandes empresas florestais tem por objetivo estabelecer plantios homogêneos, em que os indivíduos do plantio contribuem de forma uniforme para o crescimento e produtividade do povoamento. Porém, alguns fatores ligados ao ambiente, genética e silvicultura podem influenciar essa uniformidade, fazendo com que surjam plantios com estruturas heterogêneas, o que não é uma característica desejada, visto que a uniformidade tem sido positivamente correlacionada à produtividade dos plantios (BINKLEY et al., 2010; STAPE et al., 2010; RYAN et al., 2010; ASPINWALL et al., 2011, HAKAMADA et al., 2015b).

A uniformidade diminui com o avanço da idade do povoamento florestal (HAKAMADA et al., 2015b; SOARES et al., 2016; SUN et al., 2018). Por isso é importante que a determinação da uniformidade do plantio seja realizada logo nos primeiros meses para que se tenha uma visão mais ampla a respeito da estrutura do povoamento e seja possível identificar quais as áreas florestadas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural, antes que ocorra a maior diferenciação entre as árvores. A obtenção dessas medidas de uniformidade pode ser realizada por meio de índices de uniformidade (IU). O cálculo desses índices se dá, geralmente, por meio da utilização de dados amostrais obtidos pelo inventário florestal convencional, porém para áreas extensas e áreas de difícil acesso, o levantamento de dados pode se tornar uma atividade onerosa ou até mesmo inviável.

É nesse sentido que a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANT) tem se mostrado uma alternativa potencial no processo de inventário de sobrevivência e qualidade, devido ao baixo custo de operação, alta resolução espacial e temporal e alta flexibilidade na aquisição de imagens (ZHANG; KOVACS, 2012; SALAMÍ et al., 2014; TORRESAN et al., 2017). Porém, ainda são poucos os estudos que têm como foco a obtenção de medidas de uniformidade com a utilização de dados coletados por meio dessa tecnologia aerotransportada (HENTZ et al., 2018).

Diante disso, levando em consideração a importância de se buscar alternativas que garantam resultados satisfatórios semelhantes ou de qualidade superior aos obtidos pelos métodos tradicionais, a utilização de VANT pode ser uma técnica apropriada para a obtenção de medidas de uniformidade dos plantios florestais, visto que há a possibilidade de alta acurácia dos resultados e potencial de redução do tempo para obtenção de dados e informações dos plantios (ZHANG; KOVACS, 2012; SALAMÍ et al., 2014; TORRESAN et al., 2017).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial da aplicação de dados coletados por sensores passivos embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para a representação da uniformidade de plantios florestais jovens de *Eucalyptus* sp.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i. Realizar uma revisão sistemática da literatura, com o levantamento de pesquisas sobre índices de uniformidade desenvolvidas na área de manejo florestal nos últimos 20 anos (1998 a 2018). Identificar assim, as medidas de uniformidade utilizadas e os fatores que influenciam a uniformidade dos plantios;
- ii. Obter e avaliar a sobrevivência e a uniformidade de plantios jovens de *Eucalyptus* sp. utilizando dados de inventário florestal de qualidade (IFQ) e VANT;

- iii. Avaliar a utilização de índices de uniformidade como ferramenta de verificação da qualidade dos plantios florestais.

1.3 ESTRUTURAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido em três capítulos, sendo estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Aspectos Gerais - Corresponde a uma introdução geral dos assuntos tratados na presente pesquisa;

Capítulo 2 - Medidas de Uniformidade para Plantios Florestais - Foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura, tendo como temática central os índices de uniformidade utilizados no meio florestal;

Capítulo 3 - Obtenção de Medidas de Uniformidade para Plantios Jovens de *Eucalyptus* sp. Utilizando Atributos Extraídos de Voos VANT - Foram apresentadas metodologias para o cálculo de sobrevivência e índices de uniformidade em plantios jovens de *Eucalyptus* sp.

2 MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS

2.1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é reconhecido internacionalmente pelas rotações curtas e pela produtividade e de seus plantios. Graças às condições edafoclimáticas brasileiras, aos investimentos contínuos do setor em melhoramento genético e ao aprimoramento das atividades silviculturais, a produtividade florestal tem aumentado nas últimas décadas e manter esse crescimento é um desafio para o setor florestal (GONÇALVES et al., 2014).

A implantação de plantios monoclonais em extensas áreas por grandes empresas florestais tem por objetivo estabelecer plantios homogêneos, em que os indivíduos do plantio contribuem de forma uniforme para o crescimento e produtividade do povoamento. Porém, alguns fatores podem influenciar essa uniformidade, fazendo com que surjam plantios com estruturas heterogêneas, o que não é uma característica desejada do povoamento, visto que a uniformidade tem sido positivamente correlacionada à produtividade dos plantios (BINKLEY et al., 2010; STAPE et al., 2010; RYAN et al., 2010; ASPINWALL et al., 2011, HAKAMADA et al., 2015b).

Por meio da obtenção de medidas de uniformidade dos plantios é possível ter uma visão mais ampla a respeito da estrutura do povoamento e identificar quais as áreas florestadas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural. Entretanto, a uniformidade florestal é um assunto que ainda carece de maiores esclarecimentos. Nesse contexto, é proposta uma revisão sistemática da literatura, que é um tipo de investigação científica que busca responder uma pergunta de pesquisa claramente formulada e apresenta como características ser metódica, sistemática, explícita e passível de reprodução (GOMES; CAMINHA, 2014).

Sendo assim, por meio da avaliação crítica do conhecimento científico já produzido sobre a uniformidade dos plantios florestais, se buscou informações sobre quais medidas de uniformidade são utilizadas, quais os fatores que determinam a uniformidade, a relação entre esses fatores e a influência da estrutura do povoamento na produtividade. Sendo essas informações importantes para auxiliar os gestores florestais na obtenção e interpretação correta das medidas de uniformidade e

consequentemente no processo de tomada de decisão com vista a alcançar a produtividade potencial dos plantios.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura visando reunir as publicações que abordem a obtenção de medidas de uniformidade para povoamentos florestais nos últimos 20 anos (1998 a 2018).

2.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- i. Quantificar as publicações que abordem a uniformidade em plantios florestais;
- ii. Caracterizar a importância da obtenção de medidas de uniformidade dos plantios florestais;
- iii. Identificar as medidas de uniformidade utilizadas no meio florestal;
- iv. Apontar quais fatores determinam a uniformidade dos plantios, a relação entre esses fatores e qual o efeito da estrutura do povoamento na produtividade florestal.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

2.3.1 Levantamento Bibliográfico

Para o levantamento bibliográfico foi estabelecida a seguinte pergunta de pesquisa: qual é o conhecimento científico produzido nos últimos 20 anos sobre medidas de uniformidade para plantios florestais?

Foram definidos como critérios de inclusão a seleção de artigos científicos publicados de 1998 a 2018, nos idiomas português, inglês ou espanhol, com metodologias claramente descritas e que abordassem a obtenção de medidas de uniformidade no contexto dos plantios comerciais de espécies florestais. Foram

excluídos do levantamento estudos publicados em outras fontes, que não artigos científicos ou cujas medidas de uniformidade foram aplicadas fora da área de manejo florestal.

Na sequência, utilizando palavras-chave em inglês, por ser um dos idiomas mais difundidos no meio científico, foram elaboradas 4 formulações de busca (Quadro 1). As duas primeiras formulações de busca foram elaboradas de modo a garantir que fossem obtidas publicações sobre medidas de uniformidade que empregassem especificamente espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, visto que são os mais utilizados no meio florestal. E as duas buscas subsequentes foram elaboradas de forma que fossem obtidas publicações que de modo geral, também englobassem outras espécies.

QUADRO 1 - FORMULAÇÕES DE BUSCA PARA LEVANTAMENTO DE PUBLICAÇÕES SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE NO CONTEXTO DOS PLANTIOS FLORESTAIS

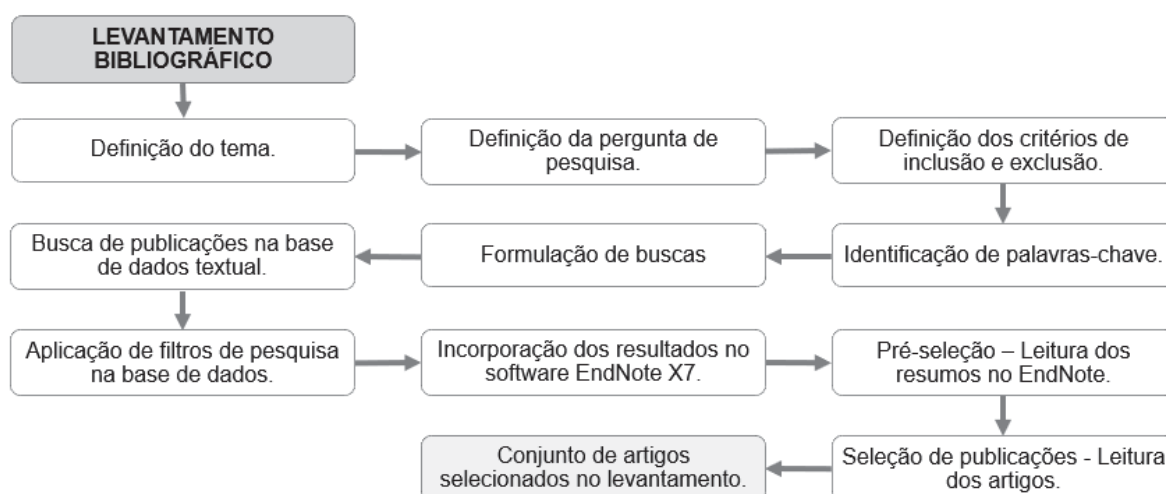
Busca	Formulação
B1	<i>Eucalyptus AND produc* AND uniform</i>
B2	<i>Pinus AND produc* AND uniform*</i>
B3	<i>forest AND uniform* AND stand AND structure</i>
B4	<i>stand uniformity AND measures of uniformity AND forest OR forest stand AND tree plantation AND forest production</i>

As buscas foram desenvolvidas na base de dados textual *Web of Science* (WoS), por ser uma das bases com maior número de periódicos indexados disponíveis. Após a consulta, a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão de publicações se deu inicialmente por meio de filtros de pesquisa, disponíveis na própria plataforma de busca, tais como: domínio da pesquisa (ciência e tecnologia), tipo de documento (artigo), e idioma das publicações (português, inglês ou espanhol).

Os resultados desse processo de triagem foram baixados no formato *.ris* e incorporados ao *software* EndNote X7. O EndNote é um *software* pago, que possui uma versão teste que pode ser utilizada por 30 dias, serve para gerenciar bibliografias e nesse trabalho foi utilizado para a leitura dos resumos e pré-seleção dos artigos.

Na sequência, foi realizada a leitura dos artigos pré-selecionados, de modo a identificar se os estudos realmente atendiam aos critérios de inclusão. Após, a exclusão das publicações com duplicidade entre as buscas o conjunto final de artigos do levantamento foi concebido. Na Figura 1 está a sequência de trabalho para a realização do levantamento.

FIGURA 1 - SEQUÊNCIA DE TRABALHO PARA A REALIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS



FONTE: A autora (2020).

2.3.2 Análise e Discussão das Publicações Científicas

De modo a organizar os dados do conjunto de artigos provenientes do levantamento bibliográfico e melhorar o processo de análise, apresentação dos resultados e discussão, a avaliação crítica dos estudos foi realizada no ambiente dos *softwares* Mendeley, NVIVO 12 Plus e Excel. O Mendeley é um *software* gratuito para o gerenciamento de referências e o *software* NVIVO é um *software* pago, porém com versão gratuita de 30 dias, que serve para o gerenciamento de pesquisas.

Tendo como base os artigos selecionados do levantamento, foram elaborados gráficos, sendo um deles acerca da frequência de publicações por ano durante o período do levantamento e outro referente ao número de publicações em cada revista. Para a elaboração da nuvem de palavras no *software* NVIVO, foram selecionadas todas as palavras-chave utilizadas pelos autores e selecionadas as 50 mais frequentes.

Foram elaborados dois quadros resumos, o primeiro com informações de identificação das publicações selecionadas, tais como: ano de publicação, autores envolvidos na pesquisa, título do artigo e idioma de publicação. Já o segundo com informações sobre o conteúdo das publicações, tais como: medidas de uniformidade empregadas, espécies utilizadas e locais de estudo. Essas informações tabulares, juntamente com a ideia central, resultados e conclusões de cada pesquisa serviram de base para a posterior discussão das publicações.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Resultado do Levantamento Bibliográfico

Com a aplicação das quatro formulações de busca na plataforma *Web of Science* (WoS) foram encontrados 1.726 artigos científicos, publicados entre os anos 1998 e 2018. Os resumos desses artigos foram exportados da plataforma WoS e incorporados ao *software* EndNote X7, onde se procedeu o refinamento dos resultados. Após a leitura dos resumos, foram pré-selecionadas 41 publicações científicas. O trabalho de seleção exigiu um grau de filtragem ainda maior, com a leitura dos artigos na íntegra para verificar se os trabalhos realmente atendiam a todos os critérios de seleção. Para o período de interesse, foram selecionadas 33 publicações científicas e identificadas 15 com duplicidade entre as buscas. Desse modo, após a exclusão dos artigos duplicados foi concebido o conjunto de 18 artigos, referentes ao período 2002 a 2018 (Tabela 1), sendo que desses, 2 se encontram no idioma português e 16 no idioma inglês.

TABELA 1 - RESULTADOS DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS

Busca	B1	B2	B3	B4	Total	Duplicados^d
Artigos ^a	63	95	229	1.339	1.726	15
Pré-seleção ^b	13	6	6	16	41	Selecionados^e
Seleção ^c	11	4	6	12	33	18

LEGENDA: ^a artigos científicos publicados de 1998 a 2018, nos idiomas português, inglês e espanhol; resultado da busca na plataforma WoS ^b artigos científicos pré-selecionados após a leitura dos resumos no *software* EndNote; ^c artigos selecionados após a leitura na íntegra; ^d artigos científicos com duplicidade entre as buscas; ^e artigos científicos selecionados após a exclusão dos artigos duplicados.

2.4.2 Análise das Publicações Científicas

No Quadro 2 está apresentada uma síntese com informações descritivas do conjunto de 18 artigos selecionados no levantamento, sendo elas: autores, ano, título e idioma de publicação.

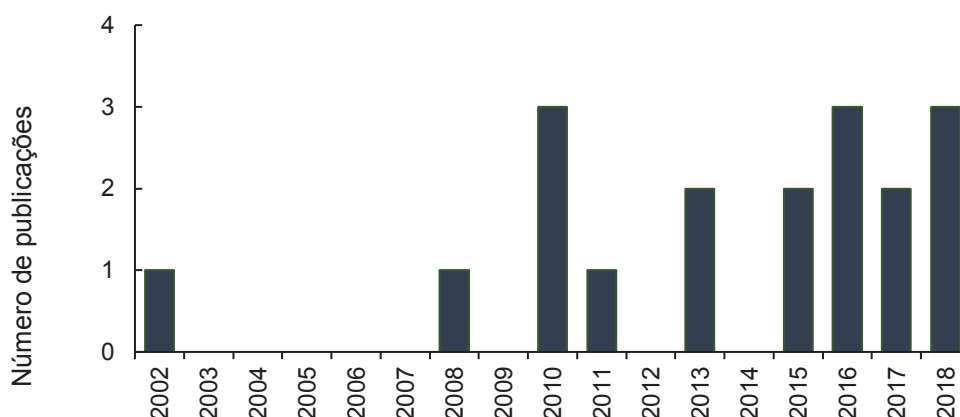
QUADRO 2 - CONJUNTO DE ARTIGOS SELECIONADOS NO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS

n	Autor/Ano	Título	Idioma
1	Binkley et al. (2002)	Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual tree, stand-structure hypothesis	ENG
2	Sharma et al. (2008)	Productivity of radiata pine (<i>Pinus radiata</i> D. Don.) clones in monoclonal and clonal mixture plots at age 12 years	ENG
3	Stape et al. (2010)	The Brazil <i>Eucalyptus</i> Potential Productivity Project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production	ENG
4	Binkley et al. (2010)	Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by <i>Eucalyptus</i> at four sites in Brazil	ENG
5	Ryan et al. (2010)	Factors controlling <i>Eucalyptus</i> productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation	ENG
6	Aspinwall et al. (2011)	Genetic effects on stand-level uniformity and above-and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine	ENG
7	Ackerman et al. (2013)	Effects of irregular stand structure on tree growth, crown extension and branchiness of plantation-grown <i>Pinus patula</i>	ENG
8	Luu et al. (2013)	Neighborhood uniformity increases growth of individual <i>Eucalyptus</i> trees	ENG
9	Hakamada et al. (2015a)	Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto	PT
10	Hakamada et al. (2015b)	Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em <i>Eucalyptus</i> clonais	PT
11	McGown et al. (2016)	Patterns of size variation over time in ponderosa pine stands established at different initial densities	ENG
12	Soares et al. (2016)	Increasing stand structural heterogeneity reduces productivity in Brazilian <i>Eucalyptus</i> monoclonal stands	ENG
13	Resende et al. (2016)	Intra-genotypic competition of <i>Eucalyptus</i> clones generated by environmental heterogeneity can optimize productivity in forest stands	ENG
14	Yáñez et al. (2017)	Silvicultural intensity and site effects on stand uniformity of Loblolly pine varieties and families	ENG
15	Soares et al. (2017)	Development of stand structural heterogeneity and growth dominance in thinned <i>Eucalyptus</i> stands in Brazil	ENG
16	Sun et al. (2018)	Relationship between size inequality and stand productivity is modified by self-thinning, age, site and planting density in <i>Sassafras tzumu</i> plantations in central China	ENG
17	Resende et al. (2018)	Environmental uniformity, site quality and tree competition interact to determine stand productivity of clonal <i>Eucalyptus</i>	ENG
18	Hentz et al. (2018)	Estimating forest uniformity in <i>Eucalyptus</i> spp. and <i>Pinus taeda</i> L. stands using field measurements and structure from motion point clouds generated from unmanned aerial vehicle (UAV) data collection	ENG

LEGENDA: n é o número de identificação do artigo seguindo a ordem cronológica de publicação; ENG é inglês; PT é português.

Os anos de 2010, 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018 foram os com maior frequência de publicação sobre o tema em questão, com número de publicações anual igual a 3, 2, 2, 3, 2 e 3 respectivamente, o que demonstra que o crescente interesse por pesquisas envolvendo esse tema nos últimos 8 anos (FIGURA 2).

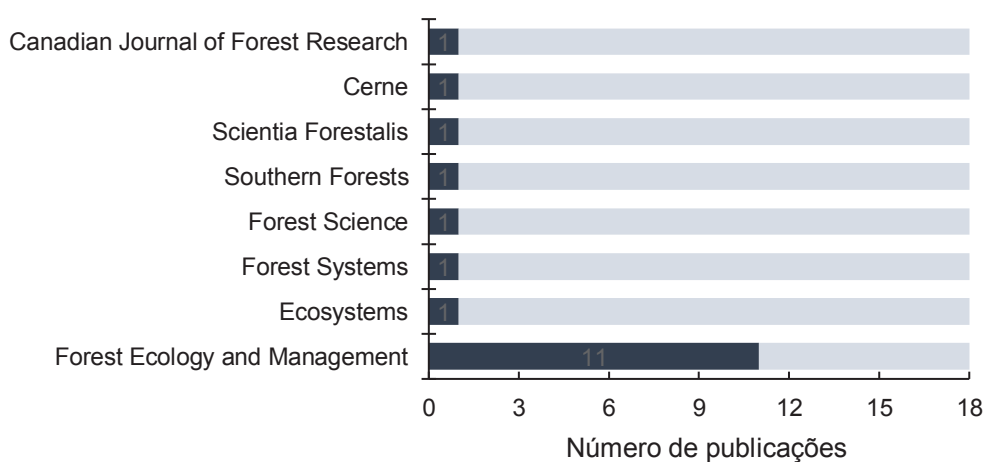
FIGURA 2 - FREQUÊNCIA DE ARTIGOS PUBLICADOS ANUALMENTE SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS FLORESTAIS



FONTE: A autora (2020).

Os 18 artigos selecionados no levantamento foram publicados em 8 revistas (FIGURA 3). A revista *Forest Ecology and Management* (holandesa) apresentou o maior número de publicações, total de 11 artigos (61,1%). Já os demais foram publicados nas revistas: *Canadian Journal of Forest Research* (Canadense), *Cerne* (brasileira), *Scientia Forestalis* (brasileira), *Southern Forests* (sul-africana), *Forest Science* (americana), *Forest Systems* (espanhola) e *Ecosystems* (americana).

FIGURA 3 - NÚMERO DE PÚBLICAÇÕES SOBRE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE NO PERÍODO DE 2002 A 2018, ORGANIZADOS POR REVISTA



FONTE: A autora (2020).

Já no território dos países Nova Zelândia (NZL), África do Sul (RSA) e China (CHN) foi desenvolvida 1 pesquisa (5,6%) em cada um desses locais.

A avaliação da uniformidade dos plantios pode ser realizada por meio da utilização de índices de uniformidade (IUs), sendo que nos estudos avaliados, os índices mais utilizados foram: i) Coeficiente de variação (CV%), 10 artigos (55,6%); ii) Coeficiente de Gini (G), 5 artigos (27,8%); iii) Percentual acumulado da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas (PV50), 3 artigos (16,7%). Já as demais medidas, como: iv) desvio padrão (DP); v) coeficiente de assimetria (g_1); vi) coeficiente de assimetria de Lorenz (AL); e vii) percentual acumulado da altura ao cubo em 50% das menores árvores plantadas (PH³50), foram utilizados com menor frequência. Porém, alguns autores utilizaram outras formas de medir a uniformidade dos plantios, tais como: Coeficiente de dominância de crescimento (CDC) (MCGOWN et al., 2016); e Autocorrelação espacial residual (AER) (RESENDE et al., 2018; RESENDE et al., 2016).

Espécies do gênero *Eucalyptus* foram estudadas em 12 artigos, sendo elas: *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (EUG); *Eucalyptus saligna* Sm. (EUS); *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake (EUU); e o híbrido entre *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (EUG x EUU). Espécies do gênero *Pinus* foram empregadas em 6 estudos e correspondem as: *Pinus radiata* D Don (PRA); *Pinus taeda* L. (PTA); *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. Et Cham. (PPA); *Pinus ponderosa* Douglas ex P. Lawson & C. Lawson (PPO). Já a espécie *Sassafras tzumu* (STZ) foi utilizada em apenas um dos estudos.

No Quadro 3 está apresentada uma síntese do conteúdo das publicações, com a relação de autores de cada pesquisa, índices de uniformidade utilizados, espécies florestais empregadas e locais onde os estudos foram desenvolvidos.

QUADRO 3 - RELAÇÃO DE PUBLICAÇÕES E RESPECTIVOS LOCAIS DE ESTUDO, ÍNDICES DE UNIFORMIDADE, VARIÁVEIS E ESPÉCIES UTILIZADAS.

n	Autor/Ano	IU	Espécie	Local de estudo
1	Binkley et al. (2002)	CV%	EUG, EUS, EUU, EUG x EUU	São Paulo (BRA)
2	Sharma et al. (2008)	CV%	PRA	Canterbury (NZL)
3	Stape et al. (2010)	CV%	EU	Sudeste (BRA)
4	Binkley et al. (2010)	CV%	EU	Espírito Santo, Bahia e São Paulo (BRA)
5	Ryan et al. (2010)	CV%	EU	Espírito Santo (BRA)
6	Aspinwall et al. (2011)	CV%	PTA	Carolina do Norte (USA)
7	Ackerman et al. (2013)	CV%	PPA	Drakensberg (RSA)
8	Luu et al. (2013)	CV%	EUG x EUU	Espírito Santo (BRA)
9	Hakamada et al. (2015a)	PV50	EUU	São Paulo (BRA)
10	Hakamada et al. (2015b)	PV50	EU	Espírito Santo, Bahia e São Paulo (BRA)
11	McGown et al. (2016)	CV%, DP, g1, G, AL e CDC	PPO	Oregon e Washington (USA)
12	Soares et al. (2016)	G	EU	Bahia (BRA)
13	Resende et al. (2016)	AER	EUG x EUU	Minas Gerais (BRA)
14	Yáñez et al. (2017)	CV%, G, PV50	PTA	Virgínia e Carolina do Norte (USA)
15	Soares et al. (2017)	G	EUG x EUU	Bahia (BRA)
16	Sun et al. (2018)	G	STZ	Condados de Huangshan e Fenyi (CHN)
17	Resende et al. (2018)	AER	EUG x EUU	Minas Gerais (BRA)
18	Hentz et al. (2018)	PH ³ 50	EU e PTA	Paraná (BRA)

LEGENDA: **índices:** CV% é coeficiente de variação em porcentagem; DP é desvio padrão; g1 é o coeficiente de assimetria; G é o coeficiente de Gini; AL é o coeficiente de assimetria de Lorenz; PV50 é a percentual acumulado da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas; PH³50 é o percentual acumulado da altura ao cubo em 50% das menores árvores plantadas; CDC é o coeficiente de dominância de crescimento; AER é autocorrelação espacial residual. **Espécies:** EU é *Eucalyptus* spp.; EUG é *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden; EUS é *Eucalyptus saligna* Sm.; EUU é *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake; EUG x EUU é o híbrido entre *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.; PRA é *Pinus radiata* D Don; PTA é *Pinus taeda* L.; PPA é *Pinus patula* Schiede ex Schtdl. Et Cham.; PPO é *Pinus ponderosa* Douglas ex P. Lawson & C. Lawson; S é *Sassafras tzumu*.; **Local de estudo:** BRA é Brasil; USA é Estados Unidos da América; NZL é Nova Zelândia; RSA é África do Sul; CHN é China.

2.5 DISCUSSÕES

2.5.1 Medidas de Uniformidade

O número reduzido de publicações obtidas no levantamento bibliográfico se deve ao fato de que a obtenção de medidas de uniformidade em plantios monoculturais ainda não é amplamente explorado no meio florestal, sendo que o interesse por esse assunto tem aumentado nos últimos anos. Além disso, muitas vezes a uniformidade é tratada em estudos de competição, por ser a área de estudo que deu origem a investigações desse tipo, o que torna confusa a identificação de publicações que tratem desse tema explicita e especificamente.

Com relação às características das medidas de uniformidade identificadas nas publicações selecionadas, observa-se que: o coeficiente de variação (CV%) fornece uma medida normalizada da variação em torno da média e pode ser usado para comparar a variação entre povoamentos ou parcelas que possuem médias diferentes (MCGOWN et al., 2016). Além disso, CV é uma escala proporcional e independe do tamanho real da variável analisada (ACKERMAN et al., 2013).

O desvio padrão (DP) quantifica a dispersão das observações em torno da média e pode ser usado para comparar diferenças na variabilidade de tamanho entre médias semelhantes e para construir intervalos de confiança em torno de uma média (MCGOWN et al., 2016). Já o coeficiente de assimetria (g_1) estima o grau de assimetria na distribuição de frequência dos tamanhos das árvores e tem sido utilizada para quantificar mudanças na variabilidade de tamanho com a densidade e o desenvolvimento do povoamento (MCGOWN et al., 2016).

O coeficiente de Gini (G) e o coeficiente de assimetria de Lorenz (AL) são estatísticas resumidas da curva de Lorenz e ambas podem ser utilizadas para medir a uniformidade das árvores dentro da população (MCGOWN et al., 2016). A Curva de Lorenz pode ser obtida ao ser plotada a percentagem acumulada das árvores (eixo x) em relação a percentagem acumulada da variável de tamanho dessas árvores (eixo y), e o G pode ser calculado por " $1 - R$ ", onde R corresponde a razão entre a área abaixo da curva de Lorenz e a área abaixo da linha de igualdade perfeita (1:1) (SOARES et al., 2016). O coeficiente de Gini possui intervalo definido que vai de 0 a 1, sendo que quando maior o valor de G menor a uniformidade estrutural do

povoamento (SUN et al., 2018; SOARES et al., 2017; SOARES et al., 2016; MCGOWN et al., 2016).

Já o coeficiente de assimetria de Lorenz (AL) fornece informações sobre a forma da curva de Lorenz, onde se $AL > 1$, a curva de Lorenz é paralela à linha de igualdade acima do eixo de simetria, o que significa que a desigualdade de tamanho é devida a alguns indivíduos grandes, e se $AL < 1$, a curva de Lorenz é paralela à linha de igualdade abaixo do eixo da simetria, sendo assim, a desigualdade de tamanho se deve ao grande número de indivíduos muito pequenos (MCGOWN et al., 2016).

O PV50 foi desenvolvido pelos autores Stape et al. (2006) e deriva da Curva de Lorenz. Esse índice corresponde ao percentual acumulado da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas e possui intervalo definido que varia entre 0 e 0,5, sendo que quando mais próximo de 0,5, maior a uniformidade do povoamento (HENTZ et al., 2018; YÁÑEZ et al., 2017; HAKAMADA et al., 2015a). O cálculo desse índice possui como diferencial considerar as falhas do plantio como parte do conceito de uniformidade (HAKAMADA et al., 2015b). Já o Percentual acumulado da altura ao cubo em 50% das menores árvores plantadas (PH³50) é uma variação do PV50 que pode ser utilizada quando o índice for calculado com a altura (HENTZ et al., 2018).

Segundo os autores McGown et al. (2016), o conceito de dominância de crescimento foi introduzido pelo autor Binkley (2004) e não é uma medida de uniformidade ou variação de tamanho, mas pode servir para indicar como o crescimento das árvores é distribuído dentro do povoamento. Para o cálculo desse índice as árvores são ordenadas em ordem crescente com base na variável de tamanho utilizada, volume por exemplo, e na sequência é plotada a proporção acumulada do volume do plantio (eixo x) com relação a proporção acumulada do incremento em volume do plantio (eixo y) (SOARES et al., 2017; MCGOWN et al., 2016).

O CDC possui limites que vão de -1 a 1, para elucidar o que representam esses valores, o volume continuará servindo como exemplo de variável de tamanho. Sendo assim, quando $CDC > 0$, significa que as árvores maiores contribuem mais para o crescimento do povoamento, quando $CDC < 0$, são as menores árvores que mais contribuem para o crescimento do povoamento, já se $CDC = 0$ indica que todas as árvores contribuem para o crescimento do povoamento de forma proporcional ao seu volume (MCGOWN et al., 2016).

A autocorrelação espacial residual (AER) foi utilizada nos estudos de Resende et al. (2018) e Resende et al. (2016), onde um dos objetivos dos autores foi identificar a uniformidade ambiental de plantios *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Os parâmetros (ϕ_r) e (ϕ_c), variando entre -1 e 1, foram atribuídos como uma medida de homogeneidade, sendo que quanto maiores esses parâmetros, maior a autocorrelação espacial dos resíduos da parcela, ou seja, as parcelas são consideradas com maior uniformidade microambiental.

Como exemplo de trabalhos que utilizam esses índices para medir a uniformidade dos plantios e que dão maior foco em apontamentos de como melhor utilizá-los, pode-se citar os trabalhos de Hakamada et al. (2015a), de McGown et al. (2016), Soares et al. (2017) e Hentz et al. (2018). O trabalho de Hakamada et al. (2015a) foi desenvolvido em plantios clonais de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake localizados no estado de São Paulo, Brasil. Nele os autores propuseram uma rede de monitoramento da qualidade silvicultural tendo como indicador a uniformidade entre as árvores do povoamento. A avaliação da uniformidade das parcelas foi obtida com base no índice PV50 (percentual acumulado do volume em 50% das menores árvores plantadas). Os autores concluíram que o PV50 é capaz de capturar a uniformidade do povoamento, onde o intervalo ótimo de uniformidade do índice, definido como sendo de 37% a 50%, não é influenciado pela capacidade produtiva do sítio e pode ser utilizado na interpretação da qualidade silvicultural do plantio.

No trabalho realizado por McGown et al. (2016) foram utilizadas seis medidas de tamanho e variação de crescimento (CV%, DP, g_1 , G, AL e CDC) para descrever os efeitos de diferentes espaçamentos iniciais em plantios de *Pinus ponderosa* Douglas ex P. Lawson & C. Lawson ao longo de 35 anos. Os autores buscaram particularmente determinar qual a métrica mais adequada para capturar as diferenças nos tamanhos das árvores durante o desenvolvimento do povoamento. Concluíram que a combinação de métricas pode ser mais adequada para fornecer uma imagem completa da diferença na estrutura do povoamento e para tanto recomendaram o uso do CV% e G. Os autores ainda explicaram que se o objetivo da avaliação for rastrear alterações no tamanho absoluto do plantio, é recomendado o uso do DP e se a diferenciação for realizada nos estágios iniciais de desenvolvimento do povoamento, as métricas g_1 , AL e CDC talvez sejam menos adequadas.

No estudo desenvolvido por Soares et al. (2017), foram utilizados o coeficiente de Gini (G) como medida de uniformidade e o coeficiente de dominância de

crescimento (CDC) para medir o crescimento de plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Os autores explicaram o elo existente entre essas duas medidas:

O elo entre a dominância do crescimento e a heterogeneidade estrutural do plantio é que o desenvolvimento da heterogeneidade no tamanho das árvores é determinado pela variabilidade nos ritmos de crescimento das árvores, especialmente em relação ao seu tamanho. Ou seja, na ausência de mudanças estruturais resultantes de distúrbios naturais ou tratamentos silviculturais, a dominância do crescimento determina a desigualdade no tamanho das árvores. Quando as árvores maiores crescem desproporcionalmente mais rapidamente que as árvores menores, a heterogeneidade aumenta. Quando o crescimento é proporcional ao tamanho da árvore, a heterogeneidade permanece a mesma. Quando árvores menores crescem desproporcionalmente mais rapidamente que árvores maiores, a heterogeneidade estrutural diminui e o plantio se torna mais uniforme em termos de tamanho das árvores (SOARES et al., 2017, p. 340).

Com isso, os autores afirmam que a dominância de crescimento afeta a uniformidade do plantio e tem implicações relevantes quanto a tomadas de decisões silviculturais, como regimes de desbaste, por exemplo. Por isso, em algumas situações, essas medidas podem ser utilizadas em conjunto para avaliar a qualidade dos plantios florestais.

A uniformidade dos plantios florestais é geralmente calculada com dados amostrais obtidos de inventários florestais realizados diretamente em campo. Esse levantamento de dados, quando para grandes áreas ou áreas de difícil acesso pode se tornar uma atividade onerosa, o que não é interessante do ponto de vista econômico para as empresas florestais.

Nesse sentido, Hentz et al. (2018) propuseram uma forma de calcular a uniformidade de plantios de *Eucalyptus* spp. e *Pinus taeda* L. utilizando alturas extraídas de imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados (VANT). Para avaliar a uniformidade dos plantios os autores utilizaram o índice de uniformidade PH³50 (percentual acumulado da altura ao cubo em 50% das menores árvores plantadas) que é uma variação do PV50 e apresenta alta correlação com esse índice. Os resultados demonstraram que em alguns casos a técnica de extração das alturas por meio dos produtos VANT pode apresentar limitações, mas que podem ser superadas com a utilização de técnicas de processamento adequadas. Os autores concluíram que o índice de uniformidade calculado por meio das alturas extraídas por VANT teve valores próximos aos obtidos a campo e, por isso, tanto a tecnologia VANT quanto o

uso da variável uniformidade tem potencial para serem utilizadas no monitoramento florestal.

2.5.2 Importância da Obtenção de Medidas de Uniformidade Florestal

Os estudos revelam que produtividade florestal está diretamente ligada a quatro fatores principais: genética (ASPINWALL et al., 2011); condições ambientais (ASPINWALL et al., 2011; STAPE et al., 2010); manejo silvicultural (HAKAMADA et al., 2015a; LUU et al., 2013; ASPINWALL et al., 2011) e uniformidade do povoamento (LUU et al., 2013). Desse modo, pode-se dizer que os ganhos em produtividade alcançados pelos plantios florestais nas últimas décadas são em grande parte consequência do melhoramento genético das espécies florestais comerciais, da melhoria das atividades silviculturais e do aumento da uniformidade dos plantios, assunto com abordagens em ascensão no meio florestal.

A importância da obtenção de medidas de uniformidade reside na possibilidade de que com a manutenção da uniformidade do povoamento se possa alcançar produtividade potencial do plantio, sendo que uma estrutura heterogênea pode contribuir substancialmente com a diminuição do crescimento e da produtividade quando em comparação com estruturas mais uniformes (RESENDE et al., 2018; SUN et al., 2018; SOARES et al., 2017; YÁÑEZ et al., 2017; RESENDE et al., 2016; SOARES et al., 2016; HAKAMADA et al., 2015a; HAKAMADA et al., 2015b; LUU et al., 2013; ACKERMAN et al., 2013; ASPINWALL et al., 2011; RYAN et al., 2010; BINKLEY et al., 2010; SHARMA et al., 2008).

Binkley et al. (2002) testaram a hipótese de que mudanças na estrutura do povoamento permitem a formação de hierarquias locais entre indivíduos, tendência que reduz o crescimento do povoamento. De acordo com os autores, estruturas heterogêneas favorecem que árvores dominantes sustentem altas taxas de crescimento devido ao aumento da aquisição de recursos, enquanto árvores menores crescem mais lentamente como resultado de uma aquisição mais limitada de recursos. Desse modo, os autores examinaram as diferenças na produção e no tamanho dos fustes entre plantios clonais de *E. grandis* W. Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm., *E. urophylla* S. T. Blake e *E. grandis* W. Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake e plantios de origem seminal de *E. grandis* W. Hill ex Maiden, entre 6 e 8 anos de idade, implantados na região sudeste do Brasil.

A previsão de que os povoamentos clonais cresceriam mais rapidamente do que os de origem seminal foi apoiada por dados de 22 dos 29 experimentos clonais implantados. Os tratamentos de origem clonal tiveram em média crescimento 17% maior do que as árvores de origem seminal. Binkley et al. (2002), atribuíram esse maior crescimento em plantios clonais à estrutura mais uniforme do povoamento, à eficiência no uso de recursos e ao uso de genótipos superiores. O coeficiente de variação do volume dos fustes foi, em média, 50% para as árvores de origem seminal em comparação com 30% para os clones. Desse modo, os povoamentos clonais mostraram uma taxa de crescimento mais alta e um crescimento mais uniforme, o que segundo os autores indicaria que as diferenças na estrutura do povoamento podem contribuir para as diferenças de produção no nível de povoamento.

Em estudo desenvolvido em um plantio jovem de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake localizado no Espírito Santo, Brasil, Luu et al. (2013) avaliaram o efeito da uniformidade no crescimento de árvores individuais e testaram a hipótese de que a maior variabilidade no tamanho das árvores na vizinhança (baixa uniformidade) reduziria diretamente o crescimento de árvores individuais. Constataram que a redução do crescimento potencial das árvores variou de 2% em locais altamente uniformes a quase 10% em locais de baixa uniformidade, uma redução geral de 4,3% no crescimento potencial do povoamento. A uniformidade das árvores vizinhas influenciou significativamente o crescimento do fuste das árvores, que mostraram reduções proporcionalmente maiores no crescimento quando em situações de baixa uniformidade. Nesse caso, o crescimento elevado das maiores árvores não compensou o menor crescimento das árvores menores. Com isso, os autores concluíram que os sistemas silviculturais que maximizam uniformidade do tamanho das árvores podem levar a um aumento de 5% a 15% na produção em nível de povoamento, além da contribuição da silvicultura para o suprimento de recursos e a qualidade das árvores.

Quando se avalia e gerencia um povoamento florestal sob o ponto de vista do manejo, se torna necessário conhecer quanto, quando, onde e como será manejado o plantio. Nesse contexto, a obtenção de medidas de uniformidade surge como uma forma de auxiliar os gestores com: a) Maior detalhamento com relação a qualidade dos plantios (HAKAMADA et al., 2015a); b) Possibilidade de identificação das áreas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural (SUN et al., 2018; YÁÑEZ et al., 2017; RESENDE et al., 2016; MCGOWN et al., 2016; BINKLEY et al., 2010;

BINKLEY et al.; 2002); e c) Tomadas de decisão mais assertivas com vistas a alcançar a produtividade potencial dos plantios (LUU et al. (2013), visto que índices de uniformidade podem servir como indicadores da qualidade e produtividade dos plantios.

2.5.3 Uniformidade dos Plantios Florestais

Espera-se que em um plantio clonal todas as plantas possuam a mesma capacidade de captação e utilização de recursos de modo a convertê-los em biomassa (ASPINWALL et al., 2011), porém diversos fatores podem afetar o crescimento das plantas culminando no surgimento de plantios com estruturas heterogêneas (ASPINWALL et al., 2011; BINKLEY et al., 2010, RYAN et al., 2010). Com base na discussão apresentada nos artigos selecionados no levantamento, pode-se dizer que a uniformidade dos plantios florestais é um reflexo das condições ambientais em que o plantio está inserido, da qualidade do material genético utilizado e da qualidade das atividades silviculturais aplicadas.

Porém, é importante salientar que esses fatores não atuam individualmente no ambiente. As condições ambientais como a disponibilidade de recursos (solo, água, luz e nutrientes) podem limitar o crescimento até mesmo do material genético mais produtivo, e o modo de implantação pode aumentar a competição entre as árvores e ocasionar povoamentos com estruturas heterogêneas (ASPINWALL et al., 2011; BINKLEY et al., 2010, RYAN et al., 2010; STAPE et al., 2010).

A silvicultura tem a possibilidade de melhorar a qualidade da área produtiva e fornecer os meios para que o material genético utilizado alcance o seu potencial produtivo (ASPINWALL et al., 2011), para tanto as atividades silviculturais devem ser avaliadas e aplicadas com qualidade, caso contrário podem influenciar negativamente no crescimento e produtividade dos plantios.

Desse modo, para efeito do melhor entendimento sobre esses fatores, os estudos envolvendo a avaliação da uniformidade nos plantios florestais foram discutidos no tópico “Ambiente, genética e silvicultura”, em que foram alocados em subtópicos de acordo com o foco de cada pesquisa.

2.5.3.1 Ambiente, genética e silvicultura

Idade

Dentre os fatores que podem influenciar a qualidade do crescimento das árvores de um plantio florestal se encontra a diferença de idade entre as mudas implantadas. Os autores Stape et al. (2010), Binkley et al. (2010) Ryan et al. (2010) e Hakamada et al. (2015b) realizaram um comparativo entre plantios de *Eucalyptus* sp. com estruturas uniformes e heterogêneas, onde na estrutura uniforme as parcelas tiveram todas as mudas plantadas no mesmo dia e na estrutura heterogênea, as parcelas tiveram o plantio escalonado, com um terço das mudas implantado no dia 0, um terço no dia 40 e um terço no dia 80. Os autores buscaram identificar o efeito da estrutura do plantio no uso eficiente de recursos (água, luz e nutrientes), crescimento e produtividade de povoamentos de *Eucalyptus* sp.

Ao final da rotação de sete anos, Stape et al. (2010) observaram que o crescimento nos plantios uniformes foi 13% maior que os povoamentos com maior heterogeneidade de plantio. Ryan et al. (2010) observaram que o aumento da heterogeneidade levou a uma perda de 14% na biomassa da madeira em relação à estrutura uniforme dos plantios aos seis anos de idade.

Binkley et al. (2010), ao examinarem a eficiência do uso da luz na escala de árvores individuais, identificaram que árvores não dominantes usam a luz com menor eficiência do que as árvores dominantes, e esse efeito é acentuado em áreas heterogêneas. Segundo os autores, em plantios com estruturas heterogêneas, a redução na produtividade do povoamento pode ser resultado da maior presença de árvores dominantes, que crescem mais rapidamente porque capturam mais recursos e os utilizam com mais eficiência. Resultados semelhantes aos encontrados por Ryan et al. (2010), que relataram que o menor crescimento no tratamento heterogêneo resultou da menor eficiência do uso da luz ao invés da menor interceptação da luz, resultado do efeito de dominância das maiores árvores sobre as menores.

Hakamada et al. (2015b), ao avaliarem o comportamento da uniformidade ao longo de uma rotação completa, bem como o efeito da uniformidade inicial na produtividade final dos plantios de *Eucalyptus* sp., observaram que a uniformidade inicial teve correlação com a produtividade na idade de corte, em que os povoamentos mais uniformes na fase inicial foram também os mais produtivos ao final da rotação.

Os autores salientaram que a uniformidade não é recuperada ao longo do tempo e pode aumentar com o avanço da idade do plantio.

Implantação: plantios monoclonais x plantios de misturas clonais

De modo avaliar o efeito do modo de implantação na produtividade do povoamento, Sharma et al. (2008) conduziram um estudo comparando plantios monoclonais (apenas um clone) com plantios de misturas clonais (com mais de um clone). Foram utilizados 11 clones de *Pinus radiata* D. Don com 12 anos de idade, implantados em Canterbury, Nova Zelândia. Os autores compararam a produtividade, os padrões de crescimento relativo, as variações de tamanho dos clones e a mortalidade entre os dois tipos de implantação.

Sharma et al. (2008) constataram que a sobrevivência total do plantio foi de 90% e não foi afetada pelo modo de implantação, que também não influenciou significativamente a produtividade total do volume de fustes. Nas parcelas monoclonais todos os clones contribuíram proporcionalmente para a produtividade total. Porém, nas parcelas de mistura clonal apenas 4 clones foram responsáveis por 50% do volume total. O coeficiente de variação foi maior nas misturas clonais em comparação às parcelas monoclonais, onde alguns clones foram muito ou pouco produtivos. Como resultado desse estudo, sugeriram que os gestores florestais devem selecionar o modo de implantação clonal com base na uniformidade da colheita, gerenciamento de riscos e eficiência operacional na produção, colheita, segregação de toras e subsequente processamento e comercialização.

Ambiente e genética

Em experimento conduzido na Carolina do Norte, USA, Aspinwall et al. (2011) avaliaram a influência do nível de melhoramento genético na uniformidade e produtividade de povoamentos de *Pinus taeda* L., utilizando para isso 10 genótipos diferentes (meio irmãos, irmãos completos, clones e sementes). Os autores observaram que parcelas com baixo coeficiente de variação apresentaram maior produção de biomassa seca total. Além disso, observaram que tratamentos com menor uniformidade geralmente apresentavam menor produtividade.

Com base nesses resultados, Aspinwall et al. (2011) apontaram que a densidade do povoamento e os efeitos do genótipo podem contribuir para grandes diferenças no crescimento do povoamento, na uniformidade e na produção de biomassa seca, e que os genótipos de *Pinus taeda* que exibem crescimento e desenvolvimento mais uniformes produzirão mais biomassa seca. Também ressaltaram que, se a heterogeneidade ambiental for alta, a variação fenotípica (função das variações genéticas e ambientais) aumentará com a diminuição da variação genética. Sendo assim, a resposta fenotípica dos clones é principalmente uma expressão da variação ambiental. E por fim destacaram a necessidade de serem implementadas prescrições silviculturais que maximizem a uniformidade do local, visto que a uniformidade de povoamentos clonais depende da qualidade dos tratos silviculturais, e a utilização de árvores geneticamente idênticas não é garantia de uma uniformidade adequada do povoamento.

Para Yáñez et al. (2017), plantios intensamente manejados podem desenvolver estruturas mais uniformes, sendo a uniformidade uma característica desejada do plantio que afeta o seu desenvolvimento e produtividade. Porém, os autores apontam que há uma carência de estudos que abordem simultaneamente o efeito da silvicultura na uniformidade de plantios com variedades clonais de *Pinus taeda* L. e que avaliem o desempenho desses plantios em diferentes condições ambientais. Sendo assim, de modo a suprir essa carência científica os autores desenvolveram um estudo em plantios com diferentes genótipos de *Pinus taeda* L. localizados na Virgínia (VA) e Carolina do Norte (CN), EUA.

Quando avaliados os efeitos ambientais e genéticos na uniformidade dos plantios, os autores relataram interações significativas entre ambiente x genótipo. No ambiente VA a uniformidade foi mais alta em um dos genótipos, já no ambiente CN não houve diferenças significativas. Quando avaliada a influência da uniformidade do plantio na produtividade, foram encontradas diferenças significativas entre volume x genótipo. Nos dois locais de estudo, duas variedades de clones apresentaram maior volume que outras. Ao avaliarem os plantios, o aumento da uniformidade foi positivamente correlacionado com o aumento da produtividade. Esses resultados apontam a grande influência do ambiente na expressão genotípica e consequentemente na estrutura e produtividade do povoamento.

Yáñez et al. (2017), concluíram que a heterogeneidade ambiental e os efeitos do genótipo explicaram a uniformidade dos povoamentos nos dois locais, e apontaram

a necessidade de se combinar boas práticas de manejo silvicultural com a escolha de áreas adequadas para o desenvolvimento de determinado material genético de modo a se obter ganhos na produtividade dos plantios.

Densidade de plantio, ambiente e genética

Soares et al. (2016), ao avaliarem as relações entre estrutura do povoamento, densidade de plantio e genética e os efeitos dessas variáveis na produtividade de plantios de *Eucalyptus* sp., identificaram uma associação negativa entre a estrutura heterogênea do povoamento e a produtividade. Onde aumentos na heterogeneidade levaram a perdas de em média 20% na produção ao longo de uma rotação completa de sete anos. Observaram que a relação entre heterogeneidade estrutural e produtividade foi influenciada pelo genótipo, sendo que os genótipos mais uniformes foram geralmente os mais produtivos. O efeito negativo da heterogeneidade foi maior em plantios mais densos, devido a competição por recursos, e esse efeito aumentou com o avanço da idade. Já a relação entre densidade de plantio e heterogeneidade diferiu entre genótipos, sendo que alguns foram mais plásticos que outros.

Outro resultado interessante do estudo de Soares et al. (2016), foi o de que o aumento da densidade de plantio aumentou a produtividade do povoamento, mesmo com o aumento da heterogeneidade estrutural. Os autores explicaram que o efeito positivo do maior número de árvores na produtividade conseguiu ser maior do que o efeito negativo da heterogeneidade, porém ressaltam que o inverso também pode ocorrer. Nesse sentido, os autores apontam que os gestores florestais ao implantarem plantios mais densos podem selecionar genótipos menos inclinados a desenvolver heterogeneidade estrutural, o que pode minimizar as perdas de produção devido à competição e supressão de árvores.

Sun et al. (2018) citaram a densidade do plantio e a qualidade de sítio como fatores de controle da heterogeneidade estrutural, produtividade e auto desbaste nas monoculturas florestais. Os autores examinaram ao longo de 20 anos as relações entre desigualdade de tamanho e produtividade em plantios de *Sassafras tzumu* estabelecidos sob diferentes densidades de plantio (20, 12 e 6m²). Os resultados desse estudo sugerem que a heterogeneidade do plantio aumenta com o avanço da idade e esse efeito é mais elevado nas maiores densidades de plantio, assim como constatado por Soares et al. (2016). O auto desbaste diminui a heterogeneidade

independentemente do sítio ou da densidade. O aumento na desigualdade de tamanho dos plantios está associado a uma diminuição no incremento do povoamento e está negativamente correlacionada com a produtividade. Os autores apontaram que há um efeito significativo da qualidade de sítio e da densidade de plantio na heterogeneidade, que aumenta rapidamente nos ambientes de melhor qualidade e maior densidade, devido ao aumento da competição e à rápida diferenciação no tamanho das árvores.

Já os autores McGown et al. (2016), ao estudarem os efeitos de diferentes espaçamentos iniciais no tamanho e crescimento de plantios de *Pinus ponderosa* Douglas ex P. Lawson & C. Lawson, apontaram que há um efeito negativo da densidade de plantio no tamanho das árvores, onde nos maiores espaçamentos o tamanho médio das árvores é maior quando em comparação com densidades mais altas. Os autores sugerem que trabalhos futuros que correlacionem uma medida de uniformidade com perdas de crescimento devido ao fechamento das copas (estagnação de crescimento) podem servir para identificar locais prioritários para tratamentos de desbaste.

Desbastes

No manejo comercial de plantios florestais, a utilização de desbastes e desramas em momentos específicos do estágio de desenvolvimento de uma dada espécie, visam estimular o crescimento das árvores, de modo a serem obtidas árvores com diâmetro e altura suficientes, principalmente para o fomento de indústrias de madeira serrada (ACKERMAN et al., 2013).

Soares et al. (2017) explicam que o desbaste do plantio pode manipular diretamente a variabilidade do tamanho das árvores, alterar o crescimento entre as classes de dominância das árvores e consequentemente modificar a estrutura do povoamento. Por isso, a escolha de como os desbastes serão conduzidos é de suma importância para evitar a formação de povoamentos com estruturas heterogêneas e para garantir que as árvores cresçam uniformemente, sem potencializar a competição entre elas.

Segundo Ackerman et al. (2013), quando utilizados em conjunto, os desbastes em linha e seletivo, a marcação desses dois sistemas deve estar alinhada, onde a marcação das linhas deve ser realizada antes do desbaste seletivo, caso contrário

pode ocorrer a formação de estruturas irregulares no povoamento, com falhas ao longo das linhas, o que favorece o crescimento espacial assimétrico das árvores adjacentes e a competição unilateral (irregular) entre elas.

Nesse sentido, para avaliar o efeito de estruturas irregulares (decorrentes de desbastes desalinhados) na morfologia e crescimento das árvores, Ackerman et al. (2013) desenvolveram um estudo em dois plantios de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., localizados na África do Sul. Os resultados desse estudo demonstraram que a estrutura irregular do povoamento afeta o crescimento das árvores, de modo que, quando sob o efeito da competição irregular, as copas das árvores ficam maiores em diâmetro e crescem desproporcionalmente para os lados, os galhos são mais grossos e mais longos na direção à área de menor competição, o DAP das árvores é maior e a eficiência do uso do espaço é reduzida. Os autores explicam que rotações longas, especialmente para produção para madeira serrada, requerem o uso ideal da área de plantio existente. O estabelecimento de povoamentos com estruturas irregulares afeta negativamente a qualidade da madeira e podem levar a perdas no volume do povoamento, por isso a marcação eficaz do desbaste atrelado ao planejamento operacional da colheita se faz necessário para limitar essas irregularidades e maximizar rendimentos futuros.

O estudo conduzido por Soares et al. (2017) teve como foco a avaliação de como a heterogeneidade do povoamento e a dominância de crescimento se desenvolvem ao longo do tempo entre diferentes intensidades de desbaste em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. localizados na Bahia, Brasil. Foram utilizados como tratamentos três intensidades de desbaste, que consistiram na remoção de 20%, 35% e 50% da área basal. A uniformidade dos plantios foi avaliada com base no coeficiente de Gini (G) e dominância de crescimento com base no coeficiente de dominância de crescimento (CDC). Os resultados apontaram que os desbastes reduziram a heterogeneidade do plantio e a dominância do crescimento ao longo do tempo, e essas reduções foram maiores em plantios mais espaçados. Para os autores, os desbastes por baixo não apenas reduzem a heterogeneidade e a dominância do crescimento removendo as árvores menores, mas também podem retardar o desenvolvimento da heterogeneidade do povoamento e da dominância do crescimento tanto em plantios de *Eucalyptus* sp. como também em outras monoculturas.

Ambiente e Competição

Com base na hipótese de que a heterogeneidade ambiental pode gerar árvores dominantes dentro do plantio e isso pode desencadear a competição intra-genotípica entre as árvores, os autores Resende et al. (2016) desenvolveram um estudo em Minas Gerais, BR, com objetivo de verificar a influência da competição na produtividade de plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake, bem como avaliar a natureza genética da competição clonal.

Resende et al. (2016) verificaram que a produtividade média foi maior em parcelas mais uniformes, que os efeitos diretos da uniformidade no incremento médio anual (IMA) das parcelas foi significativo e positivo e que clones com maior potencial genético de competição foram os mais produtivos independente da condição experimental em que foram implantados.

Em plantios mais densos ($6 \text{ m}^2.\text{planta}^{-1}$) a relação entre produtividade e competição foi mais forte do que nos plantios mais espaçados ($10 \text{ m}^2.\text{planta}^{-1}$), o que para os autores demonstra que um ambiente rigoroso estimula a competição e pode favorecer a expressão genotípica de árvores mais competitivas. Em altitudes mais altas a produtividade foi 20% maior que em baixas altitudes, os autores atribuíram essa maior produtividade ao clima mais propício proporcionado pelas altitudes mais altas brasileiras e devido a doença da ferrugem que ocorre em plantios de *Eucalyptus* spp. localizados em baixas altitudes.

Para Resende et al. (2018), existem pelo menos três fatores que podem influenciar a heterogeneidade da estrutura dos plantios, sendo eles: a heterogeneidade das condições ambientais; a competição entre as árvores; e a qualidade das mudas implantadas. Os autores explicaram que compreender as interações entre a qualidade do sítio, a heterogeneidade ambiental, a competição entre árvores e as respostas dos genótipos, pode permitir que os gestores florestais maximizem a produtividade dos plantios.

Diante disso, em estudo desenvolvido com *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake, Resende et al. (2018) buscaram identificar as interações entre esses fatores e verificaram que a produtividade foi influenciada por todas as variáveis analisadas, sendo fortemente influenciada pela qualidade do sítio, moderadamente pela uniformidade ambiental e em menor grau pela capacidade competitiva.

Os autores ressaltaram que embora a uniformidade ambiental tenha sido positivamente correlacionada com a produtividade, a interação com a capacidade competitiva do genótipo implantado pode resultar em situações em que ambientes menos uniformes são tão produtivos quanto ambientes mais uniformes. Tal situação foi descrita por Resende et al. (2016), em que os genótipos com maior potencial de competição foram mais produtivos independente da condição experimental em que foram implantados.

Dessa forma, a heterogeneidade do plantio e seus efeitos na produtividade são uma combinação de diferentes atributos estruturais que interagem entre si, e por tanto, plantios de um determinado genótipo ou na mesma classe de sítio podem diferir em produtividade em consequência dos efeitos da heterogeneidade local e à capacidade competitiva do genótipo.

Para maximizar a produtividade dos plantios florestais, Resende et al. (2016) e Resende et al. (2018) deixaram como sugestões que empresas florestais avaliem as condições ambientais dos plantios, utilizem tratamentos silviculturais adequados e façam a seleção suficientemente precisa de clones, visto que grandes áreas são ocupadas por um único clone.

2.6 CONSIDERAÇÕES

Com base nas publicações analisadas, têm-se que:

- Estudos envolvendo a obtenção de medidas de uniformidade estão em ascensão no meio florestal. O Brasil é o país com maior número de pesquisas envolvendo o tema nos últimos 20 anos.
- Os termos mais utilizados para se referir ao grau de uniformidade ou heterogeneidade dos plantios são: estrutura do povoamento (uniforme ou heterogênea), variabilidade de tamanho, hierarquia de tamanho e desigualdade de tamanho.
- O coeficiente de variação (CV%), o coeficiente de Gini (G) e o percentual acumulado da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas (PV50) são as medidas de uniformidade mais utilizadas.
- Os índices de uniformidade são comumente calculados com dados amostrais obtidos de inventários florestais realizados em campo. Esse levantamento de dados, quando para grandes áreas ou áreas de difícil

acesso pode se tornar uma atividade onerosa, o que não é interessante do ponto de vista econômico para as empresas florestais. Nesse sentido, a utilização de dados obtidos por VANT surge como uma alternativa para a obtenção de medidas de uniformidade dos plantios que servirão para o monitoramento florestal.

- A uniformidade é um reflexo das condições ambientais em que o plantio está inserido; da qualidade do material genético utilizado, da qualidade das atividades silviculturais aplicadas, e da interação entre esses fatores. A maior uniformidade dos plantios está positivamente correlacionada com a maior produtividade dos plantios. Por isso, estudos que avaliem os efeitos desses fatores na estrutura do povoamento e consequentemente na produtividade são extremamente importantes para o estabelecimento de plantios que estejam de acordo com a necessidade de cada seguimento florestal.
- A obtenção de medidas de uniformidade pode auxiliar os gestores florestais fornecendo maior grau de detalhamento sobre a qualidade dos plantios, o que possibilita a identificação das áreas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural e consequentemente favorece tomadas de decisão mais assertivas com vistas a alcançar a produtividade potencial dos plantios.

3 OBTENÇÃO DE MEDIDAS DE UNIFORMIDADE PARA PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO UTILIZANDO ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DE VOOS VANT

3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com IBÁ (2019), os plantios florestais somam cerca de 7,83 milhões de hectares e essas áreas florestadas têm aumentado a cada ano, principalmente devido ao estabelecimento de novos plantios de *Eucalyptus* sp., o que evidencia o interesse atual e crescente no uso de espécies desse gênero na cadeia produtiva do setor florestal (SANQUETTA et al., 2018).

O setor florestal brasileiro é reconhecido internacionalmente pelas rotações curtas e pela produtividade de seus plantios. Durante a segunda metade da década de 1960, no início do estabelecimento dos plantios florestais, a produção de *Eucalyptus* sp. era de aproximadamente $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (GONÇALVES et al., 2008) e atualmente o incremento médio anual de madeira com casca em plantios de *Eucalyptus* sp. varia entre 40 e 45 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (GONÇALVES et al., 2014).

A produtividade florestal tem aumentado nas últimas décadas e manter esse crescimento é um desafio para o setor florestal brasileiro (GONÇALVES et al., 2014). Entre os fatores que influenciam a produtividade, encontra-se a uniformidade estrutural dos plantios, que tem sido positivamente correlacionada com a maior produtividade (BINKLEY et al., 2010; STAPE et al., 2010; RYAN et al., 2010; ASPINWALL et al., 2011; HAKAMADA et al., 2015b).

Pode-se dizer que a uniformidade é um reflexo das condições ambientais em que o plantio está inserido, da qualidade do material genético utilizado, da qualidade das atividades silviculturais aplicadas e das interações entres esses fatores. Por isso, o grau de uniformidade do plantio pode ser utilizado como um indicador da qualidade da área produtiva.

É importante que a determinação da uniformidade seja realizada logo nos primeiros meses do plantio, dado que a uniformidade aumenta com o avanço da idade do povoamento florestal (HAKAMADA et al., 2015b; SOARES et al., 2016; SUN et al., 2018), então determiná-la com antecedência permite que sejam tomadas as decisões silviculturais necessárias para melhorar a estrutura do povoamento antes que ocorra uma maior diferenciação entre as árvores.

Nesse contexto, a obtenção de medidas de uniformidade pode auxiliar os gestores florestais, fornecendo maior detalhamento das áreas produtivas (HAKAMADA et al., 2015a); o que possibilita identificar as áreas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural (BINKLEY et al.; 2002; BINKLEY et al., 2010; MCGOWN et al., 2016; RESENDE et al., 2016; YÁÑEZ et al.; 2017; SUN et al., 2018) e serem tomadas decisões assertivas com vista a alcançar a produtividade potencial do povoamento (LUU et al., 2013).

A determinação da uniformidade dos plantios é realizada por meio de índices de uniformidade (IU), onde os índices mais utilizados no meio florestal são: a) Coeficiente de variação (CV%); b) Coeficiente de Gini (G); e c) Porcentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas (PV50). O cálculo desses índices se dá geralmente por meio da utilização de dados amostrais obtidos em campo.

Sabe-se que em um inventário florestal convencional, a coleta de dados é responsável pela maior parte dos custos, que estão diretamente relacionados ao método utilizado, à extensão da área a ser inventariada, à intensidade amostral utilizada e às variáveis dendrométricas que se deseja obter (CAMPOS; LEITE, 2017). Logo, para promover o crescimento e manutenção da competitividade do setor, bem como garantir a importante contribuição da atividade florestal no desenvolvimento econômico e sustentável do país, a redução dos custos e o tempo para a obtenção de informações sobre os plantios florestais são de suma importância.

Em vista disso, técnicas alternativas utilizando sensoriamento remoto no levantamento de dados qualitativos e quantitativos dos plantios vem ganhando espaço e reconhecimento no meio florestal. A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem se mostrado uma alternativa potencial no processo de inventário, devido ao baixo custo de operação dessa plataforma no monitoramento ambiental, alta resolução espacial e temporal, bem como alta flexibilidade na aquisição de imagens (ZHANG; KOVACS, 2012; SALAMÍ et al., 2014; TORRESAN et al., 2017).

Logo, levando em consideração a possibilidade de alta precisão dos resultados obtidos pela tecnologia VANT com potencial de redução do tempo para obtenção de informações dos plantios (ZHANG; KOVACS, 2012; SALAMÍ et al., 2014; TORRESAN et al., 2017), bem como a importância do estabelecimento de alternativas que garantam resultados satisfatórios semelhantes ou de qualidade superior aos obtidos pelos métodos tradicionais, a utilização de VANTs pode contribuir

satisfatoriamente na obtenção de dados para o cálculo de índices de uniformidade e para o monitoramento da qualidade dos povoamentos florestais. Porém, no Brasil ainda são poucos os estudos a respeito do manejo de plantios comerciais que envolvem essa temática (HENTZ et al., 2018), sendo assim, estudos como da presente pesquisa são necessários e justificados.

3.2 HIPÓTESE

Podem as informações coletadas por sensores passivos embarcados em VANT expressar de forma eficiente, quando em comparação com as técnicas convencionais, a sobrevivência e a uniformidade de plantios jovens de *Eucalyptus* sp.?

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente estudo consiste em testar o desempenho da aplicação de dados coletados por sensores passivos embarcados em VANT para a expressão da uniformidade de plantios florestais jovens de *Eucalyptus* sp., como forma de integração ou substituição das técnicas convencionalmente aplicadas.

3.3.2 Objetivos Específicos

- i. Obter a sobrevivência e medidas de uniformidade tendo como base atributos extraídos de voos VANT e dados do inventário florestal de qualidade (IFQ) para determinar a uniformidade de dois plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake e um plantio de *Eucalyptus saligna* Sm., todos com aproximadamente 12 meses de idade.
- ii. Demonstrar a significância dos resultados, comparando as estimativas de uniformidade e sobrevivência obtidas via VANT com as obtidas via IFQ.
- iii. Demonstrar formas de integrar a sobrevivência e as medidas de uniformidade obtidas por VANT na representação espacial e assim, possibilitar subsídios aos processos de tomada de decisão no gerenciamento florestal.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Área de Estudo

Os locais de estudo correspondem a três plantios jovens de *Eucalyptus* sp. pertencentes a empresa Klabin S.A., nos municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba, ambos localizados no Estado do Paraná. Telêmaco Borba possui área de aproximadamente 1.382,9 km² e população de 78.974 habitantes, já o município de Ortigueira possui área de aproximadamente 2.429,6 km² e 22.141 habitantes (IBGE, 2019a; IBGE, 2019b). Os dois municípios situam-se na mesorregião Centro Oriental Paranaense, caracterizada por restrições naturais tais como a presença de solos pouco férteis e profundos; relevo ondulado; e declividades acentuadas, fatores que favorecem a expansão de florestas e reflorestamentos em detrimento das lavouras (IPARDES, 2004).

Os solos predominantemente encontrados em Ortigueira são Neossolos e Argissolos, seguidos de Latossolos, Nitossolos e Cambissolos. Já em Telêmaco Borba, os tipos de solos predominantes são Latossolos e Argissolos seguidos das tipologias menos frequentes tais como Neossolos, Cambissolos e Nitossolos (ITCG,

2008a). O clima predominante nos dois municípios é do tipo Cfb (temperado úmido com verão temperado), pequenas regiões apresentam os climas Cfa (temperado úmido com verão quente) e Af, (tropical úmido), e outras poucas regiões apresentam a transições entre os climas Cfa e Cfb (ITCG, 2008b).

3.4.2 Objetos de Estudo

Neste estudo foram selecionados três plantios de *Eucalyptus* sp., AIB, CCA e CFL, nome dos plantios utilizado pela empresa. O talhão CCA corresponde ao plantio monoclonal da espécie *Eucalyptus saligna* Sm., e os talhões AIB e CFL são plantios monoclonais de *E. grandis* W. Hill x *E. urophylla* S. T. Blake. Quando realizado o estudo, todos os plantios se encontravam com aproximadamente um ano de idade e com sobreposição das copas na linha e sobreposição parcial entre as linhas.

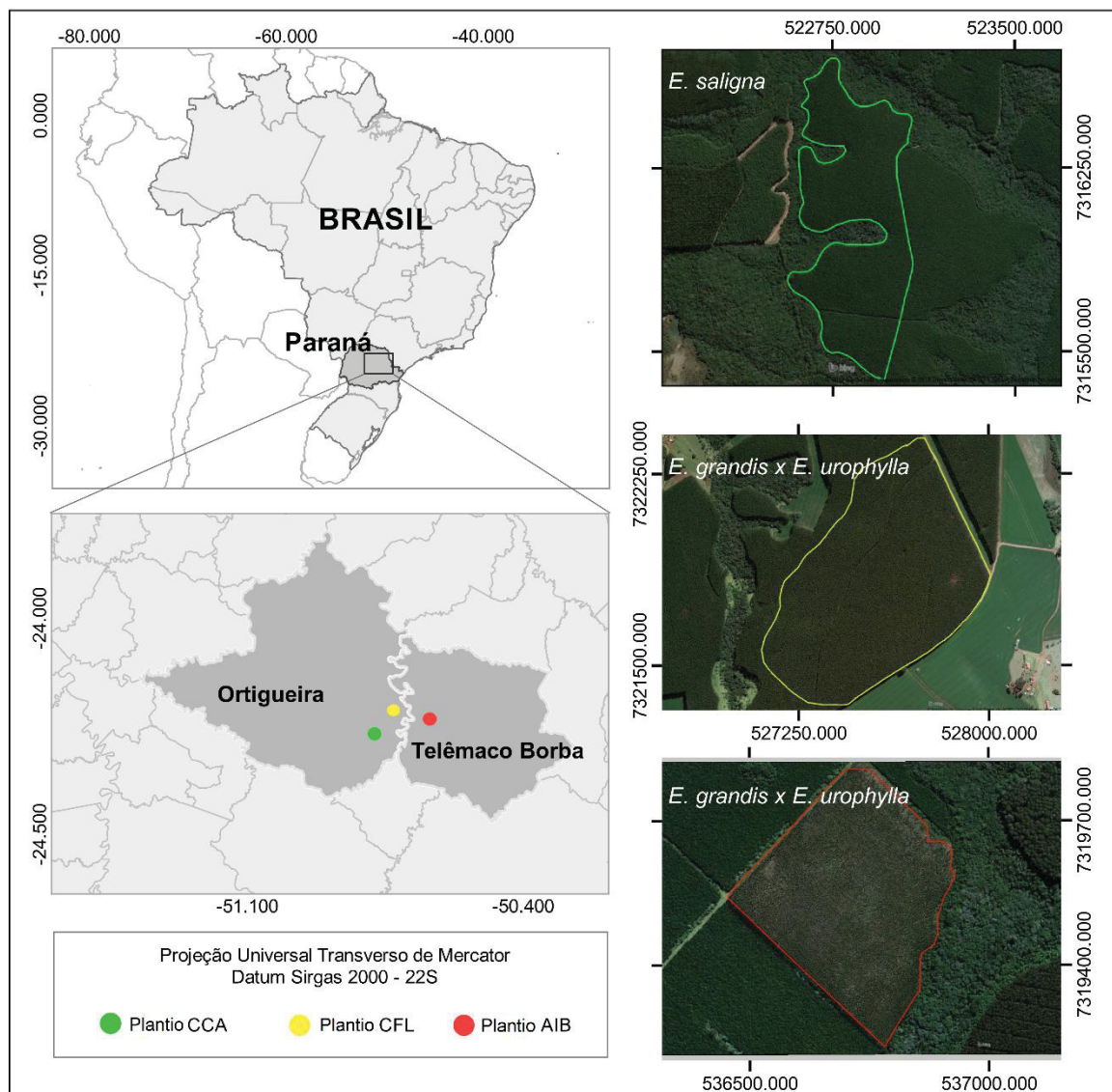
Os espaçamentos iniciais estabelecidos foram de 1,8 m x 3,3 m para os plantios CCA e CFL e de 1,75 m x 3,42 m para o plantio AIB. A área produtiva do plantio CCA corresponde a 38,39 ha com presença de solos do tipo Cambissolo. No plantio AIB a área produtiva é de 14,75 ha e predominância de solos do tipo Latossolo e Argissolo. Já o plantio CFL apresenta área produtiva de 54,19 ha e solos do tipo Latossolo (TABELA 2). Os detalhes da localização dos plantios são apresentados na Figura 5.

TABELA 2 - INFORMAÇÕES DOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. UTILIZADOS NO ESTUDO, LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Parâmetros	Plantios		
	AIB	CCA	CFL
Data de Plantio	Ago/2018	Nov/2017	Out/2017
Espécie	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	<i>E saligna</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
Idade (meses)	≅ 10	≅ 12	≅ 11
Espaçamento (m)	1,75 x 3,42	1,8 x 3,3	1,8 x 3,3
Árvores.ha ⁻¹	1.670	1.685	1.685
Área Produtiva (ha)	14,75	38,39	54,19
Solo*	Latossolo/Argissolo	Cambissolo	Latossolo

LEGENDA: *(ITCG, 2008a).

FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. UTILIZADOS NO ESTUDO, SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

3.4.3 Obtenção de Dados

3.4.3.1 Inventário Florestal de Qualidade (IFQ)

Para a realização do presente estudo a empresa Klabin S.A. disponibilizou dados de campo coletados no inventário florestal de qualidade (IFQ), que é usualmente realizado pela empresa quando os plantios completam um ano de idade.

As parcelas foram alocadas aleatoriamente no plantio e possuíam forma retangular compostas por 4 linhas com 5 árvores cada, totalizando em média 20 árvores/covas por parcela. Devido a configuração das parcelas ser determinada por 4

linhas x 5 plantas, as parcelas do plantio AIB apresentaram área de 120m² e as parcelas dos plantios CCA e CFL a área era de 119 m².

A coleta de dados de campo foi realizada avaliando todas as árvores em cada parcela, onde no plantio AIB foram amostradas 61 árvores em 3 parcelas, no plantio CCA 261 árvores em 13 parcelas e no plantio CFL foram medidas 222 árvores em 11 parcelas (TABELA 3). No IFQ, além de serem medidas as alturas das árvores com a utilização do clinômetro Haglöf, também foram quantificadas as falhas de plantio nas parcelas.

TABELA 3 - INFORMAÇÕES SOBRE AS PARCELAS DO IFQ INSTALADAS NOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.

Parâmetros	Plantios		
	AIB	CCA	CFL
Espaçamento (m)	1,75 x 3,42	1,8 x 3,3	1,8 x 3,3
Parcela (L x P/L)	4 x 5	4 x 5	4 x 5
Número de Parcelas	3	13	11
Área das Parcelas (m ²)	≅ 120	≅ 119	≅ 119
Área Amostral (m ²)	325	1547	1309
Árvores Inventariadas	61	261	222
Árvores/ha (esperado)	≅ 1.670	≅ 1.685	≅ 1.685

LEGENDA: CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*; L x P/L é o número de linhas pelo número de plantas por linha.

3.4.3.2 Obtenção de dados aéreos

A aquisição de dados aéreos de VANT foi realizada no mês de novembro de 2018 nos plantios CCA e CFL e no mês de maio de 2019 no plantio AIB (TABELA 4). Os voos foram realizados a 120 metros de altura, em dias de céu claro e respeitando a janela de voo, entre 9 horas e 15 horas.

TABELA 4 - INFORMAÇÕES SOBRE OS VOOS VANT REALIZADOS EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.

Informações	Plantios		
	AIB	CCA	CFL
Data do voo	mai/19	nov/18	nov/18
Altura de Voo (m)	120	120	120
Plataforma	Parrot Disco	Phantom	Parrot Disco
Sensor	Sequoia	RGB	Sequoia
Resolução espacial (cm)	4,5	3,0	4,5
Recobrimento (%)*	70 x 70	70 x 70	70 x 70

LEGENDA: CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*. Recobrimento (%)* é o recobrimento lateral e longitudinal das imagens.

As imagens brutas oriundas dos voos VANT foram incorporadas ao *software* PiX4D, onde foram extraídas as nuvens de pontos e gerados os produtos cartográficos: Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model*, MDE/DEM/MDT); Modelo Digital de Superfície (*Digital Surface Model*, MDS/DSM); e mosaico de ortofotos, também chamado de ortomosaico.

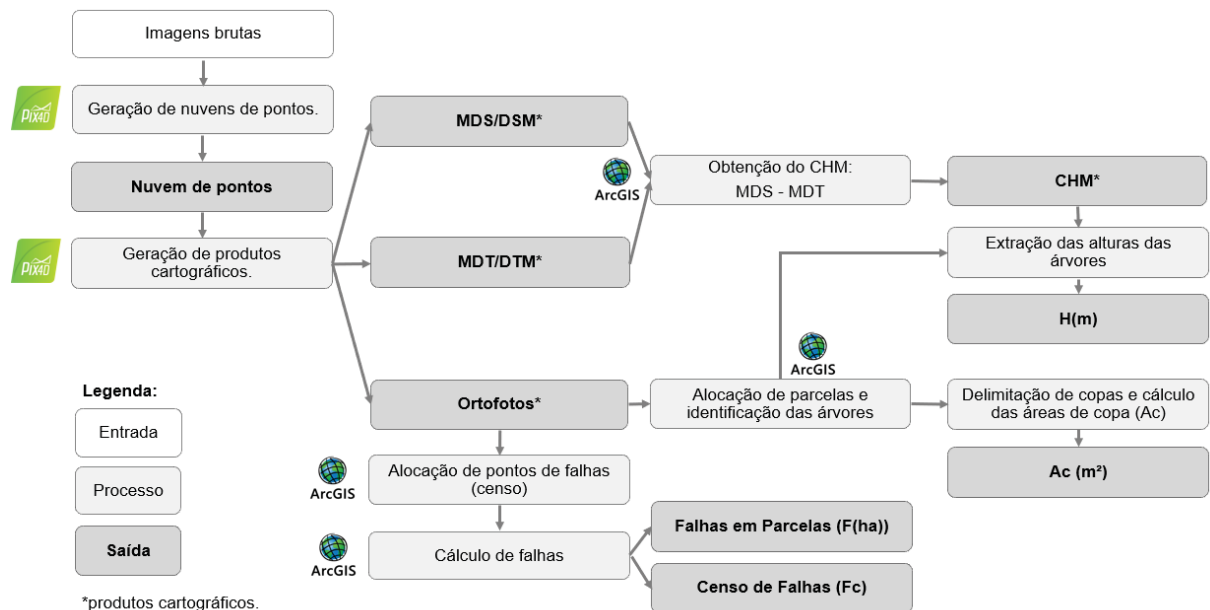
No ambiente do *software* ArcGIS, com a ferramenta *Raster Calculator*, foi realizada a subtração “MDS-MDT” e obtido o Modelo de Altura de Copas ou Modelo Digital de Superfície Normalizado (*Canopy Height Model*, MDSn/CHM) de cada plantio.

Sobre as ortofotos, a alocação das parcelas foi realizada de modo aleatório, e os pontos de localização das árvores foram vetorizações realizadas por fotointerpretação. No plantio AIB foram alocadas 20 parcelas, 3 delas com a mesma posição das parcelas do campo e em cada um dos plantios CCA e CFL foram alocadas 30 parcelas, 11 e 13 parcelas com a mesma localização das parcelas do IFQ dos respectivos plantios. Tendo a posição das árvores nas parcelas sobre o CHM, foram extraídas as alturas das árvores das parcelas utilizando a ferramenta *Extract Values to Points* do ArcGis.

Nas parcelas (VANT) que possuíam suas respectivas parcelas no campo (IFQ), foi realizada o delineamento das copas por fotointerpretação e o cálculo de suas áreas. Para o cálculo de sobrevivência, foi realizada a alocação dos pontos de falhas em toda a área dos plantios (Censo), bem como pontos de falhas em parcelas circulares de 1 hectare que possuíam suas respectivas parcelas no campo.

Na Figura 6 está apresentada a sequência de trabalho para a geração dos produtos cartográficos e extração de atributos, sendo eles: altura (h em metros); área de copa (A_c em m^2); falhas em parcelas (F_p em n/ha); e censo de falhas (F_c em n/ha).

FIGURA 6 – SEQUÊNCIA DE TRABALHO PARA A EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS VANT EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. LOCALIZADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020)

3.4.4 Sobrevivência

Dentre os fatores que podem influenciar a qualidade do crescimento das árvores de um plantio florestal, bem como a estrutura do povoamento, se encontra a diferença de idade das árvores implantadas, assim como apontado pelos autores Binkley et al. (2010), Stape et al. (2010), Ryan et al. (2010) e Hakamada et al. (2015b). Por isso, a taxa de sobrevivência é uma variável importante a ser avaliada.

3.4.4.1 Estimativa de sobrevivência

Para a estimativa da sobrevivência (S%) com base nos valores de falha obtidos nas parcelas de 1 hectare por VANT e nos dados de falhas obtidas das parcelas do IFQ, foi utilizado um modelo de razão (TRAUTENMÜLLER, 2019; PÉLLICO NETTO; BEHLING, 2019) expresso na Equação 1:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

Onde: \hat{R} é o coeficiente angular estimado (razão); x_i é o número esperado de árvores por hectare obtido na parcela i ; y_i é o número real de árvores por hectare na parcela i .

A variância, erro padrão da estimativa e erro padrão da estimativa em percentagem foram calculadas com base nas Equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$s_{\hat{Y}}^2 = \frac{N(N-n)}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{R}x_i)^2 \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

$$s_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{N(N-n)}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - 2\hat{R} \sum_{i=1}^n y_i x_i + \hat{R}^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)} \quad \text{EQUAÇÃO 3}$$

$$S_{yx\%} = \frac{s_{\hat{Y}} t}{\hat{Y}} 100 \quad \text{EQUAÇÃO 4}$$

Onde: $s_{\hat{Y}}^2$ = variância da estimativa do número de árvores por hectare; $s_{\hat{Y}}$ = erro padrão da estimativa; $S_{yx\%}$ é o erro padrão da estimativa em percentagem; n é o número de parcelas; N é o número total da população; \hat{R} é o coeficiente angular estimado; y_i é o número real de árvores por hectare na parcela i ; e x_i é o número esperado de árvores por hectare na parcela i ; \hat{Y} é a média da estimativa de árvores por hectare; t é o valor da estatística t-Student para um nível de significância (α) de 0,01 e $n-1$ graus de liberdade.

O intervalo de confiança do inventário (IFQ) foi obtido pela Equação 5.

$$IC = \hat{Y} \pm t \sqrt{s_{\hat{Y}}^2} \quad \text{EQUAÇÃO 5}$$

Onde: IC é o intervalo de confiança do inventário; \hat{Y} é a média da estimativa de árvores por hectare do IFQ; t é o valor da estatística t-Student para um nível de significância (α) de 0,01 e $n-1$ graus de liberdade; e $s_{\hat{Y}}^2$ é a variância da estimativa do número de árvores por hectare no IFQ.

Já a estimativa de sobrevivência (número de árvores por hectare) foi obtida pela Equação 6.

$$\hat{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{R} x_i}{n} \quad \text{EQUAÇÃO 6}$$

Onde: \hat{Y} é a média da estimativa de árvores por hectare; \hat{R} é o coeficiente angular; x_i é o número esperado de árvores por hectare na parcela i ; e n é o número de parcelas.

Sendo assim, para determinar se as estimativas de sobrevivência obtidas por VANT foram satisfatórias, foram testadas as seguintes hipóteses:

$H_0: \hat{Y}_e = \hat{Y}_o$; quando a média de árvores por hectare estimada por VANT estiver dentro dos limites do intervalo de confiança do IFQ ($\hat{Y}_e \leq IC_o$), as estimativas não diferem estatisticamente.

$H_1: \hat{Y}_e \neq \hat{Y}_o$; quando a média de árvores por hectare estimada por VANT estiver dentro dos limites do intervalo de confiança do IFQ ($\hat{Y}_e > IC_o$), as estimativas diferem estatisticamente.

3.4.4.2 Superfícies de falhas

A superfície de falhas foi gerada de modo a ser utilizada em conjunto com os índices de uniformidade. Essa superfície (*Layer*) foi gerada com base os pontos de falhas identificados sobre as ortofotos dos plantios (censo). Para tanto, no ambiente do *software* ArcGIS, com a utilização da ferramenta *Kernel Density*, foram utilizados os parâmetros de entrada: tamanho de célula (*Cell Size*); raio de busca (*Search Radius*); e unidade de área (*Area units*), descritos na Tabela 5.

TABELA 5 – PARÂMETROS DE ENTRADA UTILIZADOS NO SOFTWARE ARCGIS PARA GERAR AS SUPERFÍCIES DE FALHAS DOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Parâmetros	Plantios		
	AIB	CCA	CFL
Tamanho de célula	0,5	0,5	0,5
Raio de Busca	75	75	100
Unidade de Área	Hectares	Hectares	Hectares

LEGENDA: CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Após a geração da superfície de falhas pelo método Kernel (SF_K), em que pode ser visualizada a concentração de falhas por hectare, foi realizada a conversão dos valores de falhas para a escala de 0 a 1 (padronização), sendo que quanto mais próximo de 1, maior a sobrevivência de mudas na área. Para isso, foi utilizada a ferramenta Calculadora raster (*raster calculator*) do *software* ArcGIS, e a conversão se deu por meio da expressão matemática, conforme Equação 7.

$$x_{ip} = \frac{x_{máx} - x_i}{x_{máx}} \quad \text{EQUAÇÃO 7}$$

Onde: x_{ip} é valor estimado de falhas padronizado (0 a 1) no pixel; $x_{máx}$ é o valor máximo estimado de falhas obtido na superfície Kernel, em hectares; e x_i é o valor estimado de falha do pixel na superfície Kernel, dado em hectares.

3.4.5 Medidas de Uniformidade Utilizadas

A avaliação do grau de uniformidade dos plantios florestais comumente se dá por meio da utilização de índices de uniformidade (IUs) que devem possuir três características principais, assim como descrito por Hakamada (2012): a) sensibilidade para capturar diferenças na distribuição dos indivíduos nas diferentes classes da variável dendrométrica de interesse; b) sensibilidade às variações de grandeza da variável de interesse; e c) possuir limites, que facilitem a interpretação do índice quando o objetivo é a elaboração de intervalos fixos.

Desse modo, para a obtenção dos IUs dos plantios de *Eucalyptus* sp., no ambiente do *software* R, foram calculados os índices mais difundidos no meio florestal, sendo eles: Coeficiente de variação em percentagem (CV%); Coeficiente de Gini (G) e Percentual acumulada da variável dendrométrica de interesse em 50% das menores árvores plantadas (PV50) e suas variações como PV25 e PV75.

O PV50 é um índice que considera as falhas de plantio como parte do conceito de uniformidade do povoamento. Sendo assim, com o banco de dados com as alturas e as áreas de copa ordenadas em ordem crescente, foram calculadas as variações do PV, utilizando 25%, 50% e 75% dos dados, de acordo com as Equações 8, 9 e 10, respectivamente. Quando calculado com os valores de altura (h), esse índice foi chamado de PH e quando calculado com os valores de área de copa (Ac), foi denominada PAc.

$$PV25_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{\sum_{i=1}^{n_j} x_i} \quad \text{EQUAÇÃO 8}$$

$$PV50_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{\sum_{i=1}^{n_j} x_i} \quad \text{EQUAÇÃO 9}$$

$$PV75_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{\sum_{i=1}^{n_j} x_i} \quad \text{EQUAÇÃO 10}$$

Onde: PV25_j é a percentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse (H ou Ac) das 25% menores árvores plantadas da parcela j; PV50_j é a percentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse (H ou Ac) das 50% menores árvores plantadas da parcela j; PV75_j é a percentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse (H ou Ac) das 75% menores árvores plantadas da parcela j; x_i é o valor da variável dendrométrica de interesse; n_j = número de árvores plantadas ordenadas em ordem crescente (da menor para a maior) na parcela j.

Já para o cálculo do coeficiente de variação em percentagem (CV%) e do coeficiente de Gini (G) foram utilizados todos as medidas do banco de dados, com exceção das falhas de plantio. Para o cálculo G (EQUAÇÃO 11) foi utilizado o pacote estatístico *ineq* (ZEILEIS; KLEIBER, 2014) do *software* R e para a obtenção do CV% foi utilizada a Equação 12.

$$G_j = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} (A_{j_{i+1}} - A_{j_i}) (D_{j_{i+1}} - D_{j_i}) \quad \text{EQUAÇÃO 11}$$

$$CV_{\%j} = \frac{s_j}{\bar{x}_j} 100 \quad \text{EQUAÇÃO 12}$$

Onde: G_j é o coeficiente de Gini da variável dendrométrica de interesse na parcela j ; A_j = proporção acumulada do número de árvores da parcela j ; D_{ij} = proporção acumulada do valor da variável dendrométrica de interesse da parcela j ; CV_j é o coeficiente de variação da variável dendrométrica de interesse na parcela j ; s_j é o desvio padrão da variável dendrométrica de interesse na parcela j ; \bar{x}_j é a média da variável dendrométrica de interesse na parcela j .

Para a posterior avaliação dos índices, sabendo o intervalo em que cada índice varia, foi realizada a padronização dos seus valores utilizando as expressões descritas na Tabela 6, de modo que os valores resultantes se encontrassem na mesma escala de 0 a 1, considerando que quanto mais próximos de 1, maior a uniformidade.

TABELA 6 - PADRONIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA OS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp., SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.

IU	Intervalo do IU		Padronização
	Inferior	Superior	
PV25	0	0,25	$x_{ip} = 4 x_i$
PV50	0	0,50	$x_{ip} = 2 x_i$
PV75	0	0,75	$x_{ip} = \frac{4}{3} x_i$
G	1	0	$x_{ip} = 1 - x_i$
CV%	∞	0	$x_{ip} = \frac{x_{m\acute{a}x} - x_i}{x_{m\acute{a}x}}$

LEGENDA: IU é índice de uniformidade; superior corresponde ao valor de máxima uniformidade do índice, inferior é o valor correspondente a inexistência de uniformidade; x_{ip} valor do índice padronizado (0 a 1) na parcela; $x_{m\acute{a}x}$ é o valor máximo do índice obtido nas parcelas dos plantios; e x_i é o valor do índice obtido na parcela.

3.4.6 Obtenção de Medidas de Uniformidade: Cenários

Ao ser avaliado o padrão de comportamento das alturas extraídas por VANT, quando em comparação com as alturas provenientes do IFQ, foi observada a existência de um erro sistemático com tendência a subestimar as medidas. Sugere-se que essa situação tenha ocorrido devido ao fato de que quando a vegetação é densa, os sensores passivos acoplados na plataforma VANT têm dificuldade em capturar a reflectância do solo, com isso o MDS é capturado com clareza, porém o mesmo pode não ocorrer com o MDT, e com isso o CHM acaba sendo prejudicado e consequentemente as alturas extraídas desse produto cartográfico. Para superar essa limitação pode-se utilizar um MDT já existente da área, obtido antes da implantação do plantio ou ajustar as alturas extraídas por VANT com base em parcelas amostradas em campo e é esse segundo procedimento proposto nesse trabalho.

No primeiro cenário foram obtidos os fatores de correção por classe de tamanho (R_j) e realizada a correção das alturas VANT. Na sequência são calculados os índices de uniformidade com base na variável altura (h) obtida do IFQ e nas variáveis altura corrigida (h_{corr}) e área de copa (A_c) obtidas por VANT. Esses índices são então comparados para por meio de um teste X^2 para estabelecer se há diferenças estatísticas entre os métodos de levantamento IFQ e VANT.

Já no segundo cenário, os fatores de correção por classe de tamanho (R_j) obtidos no primeiro cenário são utilizados para corrigir as alturas nas demais parcelas VANT, de modo que com a maior intensidade amostral VANT utilizada fossem obtidas medidas de uniformidade que capturassem com maior clareza a variabilidade estrutural dos plantios.

3.4.6.1 Cenário I: medidas de uniformidade IFQ x VANT

Para a correção das alturas VANT, foram adotados fatores de correção por classe de tamanho (R_j), baseado na razão entre as alturas obtidas em campo e alturas obtidas por VANT. Para a obtenção do fator de correção de cada classe foi realizada a sequência de trabalho expressa abaixo:

- 1) Em cada um dos plantios o banco de dados contendo os pares de dados (altura obtida por VANT e sua respectiva altura à campo) foi ordenado em ordem

crecente de tamanho. Sendo assim, para esse cálculo foram utilizadas 3, 13 e 11 parcelas, dos plantios AIB, CCA e CFL respectivamente.

2) O banco de dados ordenado foi dividido em classes de altura com intervalo de 1 metro, com base na altura extraída do VANT.

3) Para cada classe de tamanho foi calculada a razão entre o somatório das alturas obtidas do IFQ e o somatório das alturas obtidas por VANT (EQUAÇÃO 13).

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} h_{oi}}{\sum_{i=1}^{n_j} h_{ei}} \quad \text{EQUAÇÃO 13}$$

Onde: R_j é a razão da classe j ; h_{oi} é a altura obtida do IFQ na classe j ; e h_{ei} é a altura extraída por VANT na classe j .

4) E por fim, as alturas VANT foram corrigidas aplicando a expressão matemática descrita na Equação 14.

$$h_{ei_{corr}} = h_{ei} R_j \quad \text{EQUAÇÃO 14}$$

Onde: $h_{ei_{corr}}$ é a altura extraída por VANT corrigida; h_{ei} é a altura extraída por VANT e R_j é a razão obtida para a classe de tamanho j .

De posse das alturas corrigidas VANT e as alturas obtidas do IFQ foram calculados os índices de uniformidade dos plantios (item 3.4.5). Os índices de uniformidade também foram calculados com base na variável área de copa (A_c) obtida por VANT, utilizada como uma variável auxiliar para a avaliação dos índices.

A comparação dos índices de uniformidade IFQ x VANT se deu por meio de um teste X^2 . Para tanto, os índices de uniformidade foram divididos em 3 classes segundo a sua amplitude para determinar a frequência de parcelas em cada classe.

Na sequência, as frequências de parcelas para ambos os métodos de avaliação (VANT e IFQ) foram organizados em uma tabela de acordo com a fonte de variação e classificação dos índices. Dado que as fontes de variação (IFQ e VANT) e as classes são variáveis qualitativas, a correlação entre elas foi avaliada por meio do teste X^2 , dado por:

$$X^2 = \frac{\sum (F_o - F_e)^2}{F_e} \quad \text{EQUAÇÃO 15}$$

Onde: X^2 é o teste qui-quadrado; F_o é a frequência observada; e F_e é a frequência estimada.

O teste X^2 foi aplicado utilizando a “frequência de parcelas IFQ (h) x frequência de parcelas VANT (h)” e “frequência de parcelas IFQ (h) x frequência de parcelas VANT (Ac)”. Algumas classes apresentaram valor 0 (zero) de frequência, desse modo para a aplicação do teste essa classe foi excluída e o valor de frequência na mesma classe para a outra fonte de variação foi somada a classe seguinte.

Sendo assim, para avaliar a correlação entre os índices uniformidade IFQ x VANT foram testadas as seguintes hipóteses:

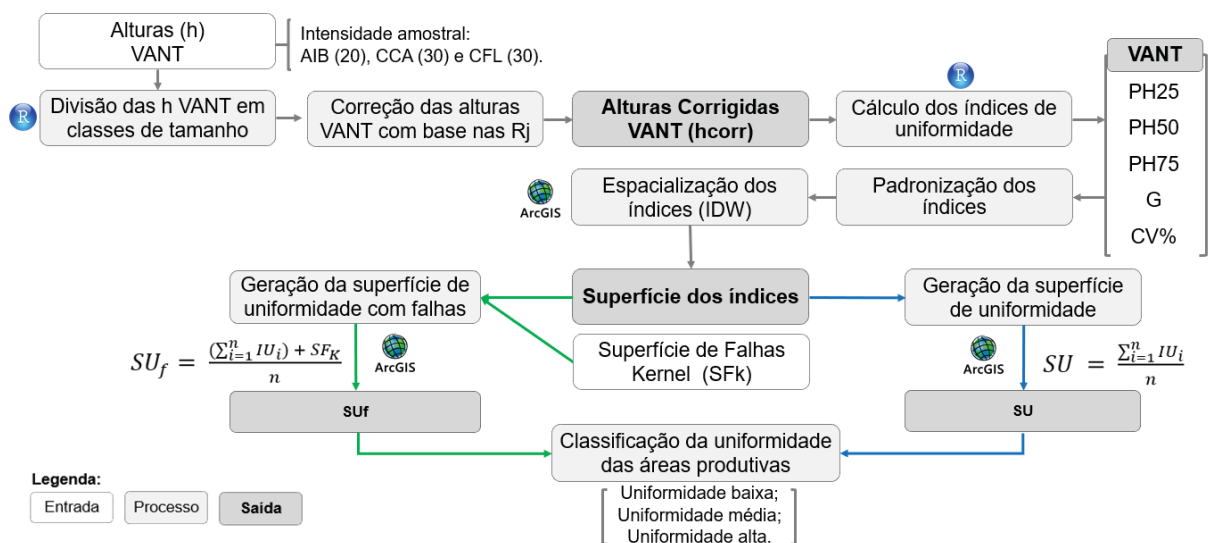
$H_0: F_e = F_o$; a frequência de parcelas VANT não é diferente da frequência de parcelas do IFQ quando $p - \text{valor} \geq \alpha$, sendo assim, os métodos não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância ($\alpha = 0,05$).

$H_1: F_e \neq F_o$; a frequência de parcelas VANT é diferente da frequência de parcelas do IFQ quando $p - \text{valor} < \alpha$, sendo assim, os métodos são estatisticamente diferentes, ao nível de 5% de significância ($\alpha = 0,05$).

3.4.6.2 Cenário II: medidas de uniformidade VANT

Na Figura 7 está apresentada a sequência de trabalho do segundo cenário, com o objetivo de determinar o grau de uniformidade dos plantios de *Eucalyptus* sp.

FIGURA 7 - SEQUÊNCIA DE TRABALHO REALIZADA NO CENÁRIO II PARA DETERMINAR O GRAU DE UNIFORMIDADE DOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp., SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: a autora (2020)

Após ser realizado o comparativo entre as medidas de uniformidade IFQ x VANT (item 3.4.6) e com a relação das razões por classe de tamanho (R_j), foi realizada a correção para as demais alturas das parcelas VANT, sendo elas 20, 30 e 30 parcelas dos plantios AIB, CCA e CFL, respectivamente.

Com as alturas corrigidas foram calculados e padronizados os índices de uniformidade PH25, PH50, PH75, CV% e G para essas parcelas, utilizando as expressões matemáticas descritas no item 3.4.5. Os índices de uniformidade padronizados foram incorporados ao *software* ArcGIS, onde por meio da ferramenta *Inverse Distance Weighting* (IDW) foi gerada a superfície de uniformidade de cada índice para cada plantio.

McGown et al. (2016) indicam que utilizar uma combinação de métricas de uniformidade pode fornecer uma visão mais ampla e adequada sobre a estrutura do povoamento. Desse modo, a uniformidade dos plantios não foi avaliada com base nos índices utilizados individualmente, mas sim por meio da combinação desses índices. Para tanto, por meio da ferramenta *raster calculator*, no *software* ArcGIS, foi realizada uma álgebra de mapas, em que os *layers* contendo os índices foram integrados (EQUAÇÃO 16) para a geração de uma única superfície de uniformidade (SU) para cada plantio.

De modo a determinar a uniformidade dos plantios considerando também a distribuição das falhas na área produtiva, foi acrescentado a essa matemática de bandas o *layer* correspondente a superfície de falhas padronizada Kernel (SF_K) (item 3.4.4.2), obtida de acordo com a Equação 17. E para determinar o grau de uniformidade dos plantios as duas superfícies de uniformidade geradas (SU e SU_f) foram classificadas em 3 classes de uniformidade.

$$SU = \frac{\sum_{i=1}^n IU_i}{n} \quad \text{EQUAÇÃO 16}$$

$$SU_f = \frac{(\sum_{i=1}^n IU_i) + SF_K}{n} \quad \text{EQUAÇÃO 17}$$

Onde: SU é a superfície de uniformidade proveniente da integração dos índices PH25, PH50, PH75, CV% e G; SU_f é a superfície de uniformidade proveniente da integração dos índices PH25, PH50, PH75, CV% e G e a superfície de falhas Kernel; IU_i é o *layer* do índice de uniformidade i ; SF_K é o *layer* correspondente a superfície de falhas padronizada Kernel; e n é o número de *layers*.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.5.1 Sobrevivência

No inventário florestal de qualidade (IFQ) foram identificadas respectivamente 26 falhas.ha⁻¹ (1,6%) no plantio CCA, 92 falhas.ha⁻¹ (5,4%) no plantio CFL e nenhuma falha por hectare no plantio AIB. Já na amostragem de falhas VANT, foram identificadas 59 falhas.ha⁻¹ (3,5%) no plantio CCA, 105 falhas.ha⁻¹ (6,2%) no plantio CFL e 119 falhas.ha⁻¹ (7,1%) no plantio AIB.

Os resultados das estimativas da sobrevivência para os plantios AIB, CCA e CFL com o modelo de razão (TRAUTENMÜLLER, 2019; PÉLLICO NETTO; BEHLING, 2019) se encontram na Tabela 7. Para avaliar se as estimativas por VANT diferem ou não estatisticamente das estimativas do IFQ, foram testadas as hipóteses H₀ e H₁.

TABELA 7 - ESTIMATIVAS DE SOBREVIVÊNCIA POR IFQ E VANT OBTIDAS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Parâmetros	IFQ			VANT		
	AIB	CCA	CFL	AIB	CCA	CFL
\hat{Y}	1.670	1.659	1.593	1.551	1.626	1.580
\hat{R}	1,00	0,98	0,95	0,93	0,97	0,94
$S_{\hat{Y}}^2$	0	216	1.471	128	23	177
$S_{\hat{Y}}$	0	15	38	11	5	13
$S_{yx\%}$	0,0%	2,7%	7,6%	7,2%	0,9%	2,7%
IC	1.670	1.659 ± 44	1.593 ± 121	1.551 ± 112	1.626 ± 14	1.580 ± 42
$F_{\%}$	0	1,5 ± 2,6	5,4 ± 7,2	7,1 ± 6,7	3,5 ± 0,8	6,2 ± 2,5
$S_{\%}$	100	98,5 ± 2,6	94,6 ± 7,2	92,9 ± 6,7	96,5 ± 0,8	93,8 ± 2,5

LEGENDA: \hat{Y} é a média da estimativa de árvores por hectare; \hat{R} é o coeficiente angular estimado/razão; $S_{\hat{Y}}^2$ = variância da estimativa do número de árvores por hectare; $S_{\hat{Y}}$ = erro padrão da estimativa de árvores por hectare; $S_{yx\%}$ é o erro padrão da estimativa em percentagem; IC é o intervalo de confiança (árvores/ha); $F_{\%}$ é o percentual de falhas; $S_{\%}$ é o percentual de sobrevivência. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

No plantio AIB (*E. grandis* x *E. urophylla*), devido à baixa intensidade amostral, bem como a área reduzida das parcelas do IFQ (~119 e ~120 m²), quando em comparação as parcelas de 1 ha VANT, observa-se que o inventário em campo não conseguiu capturar a variabilidade de falhas existentes no plantio, visto que com o levantamento VANT a estimativa de sobrevivência foi de 92,9 ± 6,7%, enquanto que no levantamento do IFQ a sobrevivência foi de 100%. Por isso, a hipótese H₀ foi rejeitada, mostrando que para esse plantio estatisticamente há diferença entre os

métodos e que, quando em comparação ao inventário convencional, o uso do VANT foi eficiente e melhor na estimativa de sobrevivência dos plantios.

O plantio CCA (*Eucalyptus saligna*) foi o que apresentou maior percentual de sobrevivência tanto nas estimativas por VANT, como nas estimativas do inventário em campo, $96,5 \pm 0,8\%$ e $98,5 \pm 2,6\%$, respectivamente. A estimativa por VANT da média de árvores vivas por hectare foi de 1.626, e ficou dentro do intervalo de confiança (IC) do IFQ que foi de 1.659 ± 44 , sendo assim a hipótese H_0 não foi rejeitada.

E o plantio CFL (*E. grandis* x *E. urophylla*) apresentou $94,6 \pm 7,2\%$ e $93,8 \pm 2,5\%$ de sobrevivência, com as estimativas do IFQ e VANT, respectivamente. A média de árvores vivas por hectares estimada por VANT foi de 1.580 e ficou dentro do intervalo de confiança do inventário de campo (1.593 ± 121), desse modo a hipótese H_0 foi aceita, pois as estimativas não diferiram estatisticamente.

Com a alocação dos pontos de falhas (censo) na área produtiva dos plantios, observa-se a presença de 105, 40 e 116 falhas.ha⁻¹ nos plantios AIB, CCA e CFL, respectivamente. Sendo que o plantio CCA, que corresponde a espécie *Eucalyptus saligna*, foi o que apresentou o maior percentual de sobrevivência, 97,6%. Já os plantios AIB e CFL de *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram valores de sobrevivência menores, 93,7% e 93,1% respectivamente (TABELA 8). Percebe-se que os resultados de sobrevivência obtidos do censo por VANT foram semelhantes aos obtidos pelas estimativas de sobrevivência tendo como base as parcelas de IFQ e VANT, com exceção da estimativa de sobrevivência do IFQ para o plantio AIB.

TABELA 8 - SOBREVIVÊNCIA E FALHAS NOS PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. A PARTIR DE CENSOS DE FALHAS OBTIDOS POR VANT

Informações	AIB	CCA	CFL
Total de Falhas (censo)	1.552	1.520	6.288
Área Produtiva (ha)	14,75	38,39	54,19
Plantas esperadas.ha ⁻¹	1.670	1.685	1.685
Vivas.ha ⁻¹	1.565	1.645	1.569
Falhas.ha ⁻¹	105	40	116
F%	6,3	2,4	6,9
S%	93,7	97,6	93,1

LEGENDA: S% é sobrevivência em porcentagem; F% é percentual de falhas; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

3.5.2 Obtenção de Medidas de Uniformidade

3.5.2.1 Cenário I: medidas de uniformidade IFQ x VANT

Na Tabela 9 estão apresentadas as estatísticas descritivas das alturas obtidas do IFQ e das alturas extraídas por VANT, das 3, 13 e 11 parcelas selecionadas nos plantios AIB, CCA e CFL, respectivamente. Pode-se observar que de modo geral as alturas extraídas do CHM obtido do VANT foram subestimadas, situação similar a descrita por Hentz et al. (2018).

TABELA 9 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ALTURAS IFQ E VANT OBTIDAS EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Est.	h (m) IFQ			h (m) VANT		
	AIB	CCA	CFL	AIB	CCA	CFL
Mín.	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00
Méd.	6,10	5,68	5,01	3,28	2,26	1,85
Máx.	8,10	7,10	7,00	5,70	7,60	3,80
Desvio	2,14	0,94	1,38	1,42	1,89	0,84

LEGENDA: Est. é estatística; h é altura; Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é o valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Desse modo, tendo como base as alturas VANT, para cada um dos plantios foram criadas classes de tamanho com intervalo de um metro. Os plantios CCA e CFL apresentaram 8 e 4 classes de tamanho, respectivamente. Como o plantio AIB não apresentou alturas menores que 1 metro e no intervalo de 3 e 4 metros, teve uma amplitude de dois metros de altura nas classes 1 e 2.

A correção das alturas VANT se deu por meio da aplicação do fator de correção (R_j) obtido por classe de tamanho, onde as alturas dentro das classes foram multiplicadas pelas razões das classes (TABELA 10). Pode-se observar que a primeira classe dos plantios CCA e CFL, com intervalo de alturas de menores que 1 metro, foi a mais sensível e que apresentou os maiores valores de razão, 16,64 e 8,92, respectivamente.

TABELA 10 - CLASSES DE TAMANHO, INTERVALOS E RAZÕES OBTIDAS COM BASE NAS ALTURAS EXTRAÍDAS POR VANT EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

AIB			CCA			CFL		
C	Intervalo	R	C	Intervalo	R	C	Intervalo	R
1	$2 > h$	2,54	1	$1 > h$	16,64	1	$1 > h$	8,92
2	$2 \leq h < 4$	2,39	2	$1 \leq h < 2$	4,26	2	$1 \leq h < 2$	3,32
3	$4 \leq h < 5$	1,57	3	$2 \leq h < 3$	2,32	3	$2 \leq h < 3$	2,31
4	$5 \leq h$	1,31	4	$3 \leq h < 4$	1,71	4	$3 \leq h$	1,56
-	-	-	5	$4 \leq h < 5$	1,33	-	-	-
-	-	-	6	$5 \leq h < 6$	1,07	-	-	-
-	-	-	7	$6 \leq h < 7$	0,83	-	-	-
-	-	-	8	$7 \leq h$	0,71	-	-	-

LEGENDA: C é classe de tamanho; R é a razão da classe de tamanho. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Após a correção das alturas VANT, observa-se que no plantio AIB houve uma diminuição no desvio padrão da variável, porém o mesmo não ocorreu nos demais plantios, locais em que essa estatística aumentou. Nos plantios AIB e CFL o valor máximo da altura ficou próximo ao observado em campo, porém no plantio CCA foi mais que o dobro, devido ao elevado valor do fator de correção (R) obtido na primeira classe de tamanho utilizado para a correção das alturas dessa classe. Contudo, nos três plantios as médias das alturas VANT corrigidas passaram a ser aproximadamente idênticas as médias das alturas obtidas do IFQ (TABELA 11).

TABELA 11 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS ALTURAS VANT APÓS A APLICAÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO OBTIDO PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Est.	h (m) IFQ			h _{corr} (m) VANT		
	AIB	CCA	CFL	AIB	CCA	CFL
Mín.	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00
Méd.	6,10	5,68	5,01	6,10	5,68	5,01
Máx.	8,10	7,10	7,00	7,69	14,98	8,03
Desvio	2,14	0,94	1,38	1,00	2,81	1,56

LEGENDA: Est. é estatística; h é altura, h_{corr} é altura corrigida; Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Com base nas alturas (h) do IFQ, nas alturas corrigidas (h_{corr}) VANT e área de copa (Ac) VANT foram calculados os índices de uniformidade, onde as estatísticas descritivas desses índices podem ser visualizadas nas Tabelas 12, 13 e 14.

TABELA 12 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE COM BASE NA VARIÁVEL ALTURA OBTIDA DO IFQ EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Plantio	Índice	Estatísticas			
		Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	PH25	0,00	0,14	0,22	0,12
	PH50	0,24	0,38	0,47	0,13
	PH75	0,56	0,67	0,73	0,09
	CV%	7,49	16,08	21,40	7,51
	G	0,04	0,08	0,11	0,04
CCA	PH25	0,13	0,21	0,23	0,03
	PH50	0,41	0,45	0,48	0,02
	PH75	0,68	0,71	0,74	0,02
	CV%	4,05	7,75	12,50	2,35
	G	0,02	0,04	0,06	0,01
CFL	PH25	0,00	0,16	0,23	0,07
	PH50	0,30	0,43	0,48	0,05
	PH75	0,63	0,69	0,73	0,03
	CV%	5,43	8,28	14,46	2,78
	G	0,03	0,05	0,08	0,02

LEGENDA: Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*. PH25, PH50 e PH75 são o percentual acumulado da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

TABELA 13 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS COM BASE NA VARIÁVEL ALTURA CORRIGIDA EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Plantio	Índice	Estatísticas			
		Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	PH25	0,21	0,22	0,23	0,01
	PH50	0,44	0,45	0,48	0,02
	PH75	0,68	0,71	0,74	0,03
	CV%	5,23	10,30	14,94	4,87
	G	0,03	0,06	0,08	0,03
CCA	PH25	0,01	0,11	0,23	0,08
	PH50	0,17	0,33	0,47	0,10
	PH75	0,41	0,60	0,72	0,09
	CV%	6,09	30,22	62,02	18,74
	G	0,03	0,16	0,34	0,10
CFL	PH25	0,00	0,15	0,22	0,07
	PH50	0,27	0,40	0,45	0,06
	PH75	0,56	0,66	0,71	0,04
	CV%	8,19	16,66	43,13	9,51
	G	0,05	0,09	0,25	0,05

LEGENDA: Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*. PH25, PH50 e PH75 são o percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

TABELA 14 - ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS COM BASE NA VARIÁVEL ÁREA DE COPA EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Plantio	Índice	Estatísticas			
		Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	PAc25	0,17	0,18	0,19	0,01
	PAc50	0,40	0,41	0,43	0,01
	PAc75	0,64	0,67	0,69	0,02
	CV%	21,10	22,56	24,63	1,84
	G	0,11	0,12	0,13	0,01
CCA	PAc25	0,16	0,19	0,21	0,02
	PAc50	0,38	0,42	0,44	0,02
	PAc75	0,63	0,68	0,70	0,03
	CV%	9,99	16,73	22,95	3,58
	G	0,05	0,09	0,13	0,02
CFL	PAc25	0,14	0,18	0,20	0,02
	PAc50	0,38	0,41	0,44	0,02
	PAc75	0,62	0,66	0,69	0,02
	CV%	13,32	18,65	31,02	5,33
	G	0,07	0,10	0,17	0,03

LEGENDA: Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*; PAc25, PAc50 e PAc75 são o percentual acumulado da área de copa em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

Cada índice de uniformidade foi dividido em três classes segundo sua amplitude e então foi obtida a frequência de parcelas que se encontravam em cada classe para ambos os métodos (IFQ e VANT). Na Tabela 15 podem ser visualizadas as classes dos índices de uniformidade e a frequência de parcelas em cada classe.

TABELA 15 - FREQUÊNCIA DE PARCELAS NAS CLASSES DOS ÍNDICES OBTIDOS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Fonte	Índice	AIB			CCA			CFL		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
VANT	PH25	2	-	1	5	3	5	1	4	6
IFQ	PH25	1	-	2	1	3	9	1	3	7
VANT	PAC25	2	-	1	4	1	8	1	5	5
VANT	PH50	2	-	1	4	3	6	2	2	7
IFQ	PH50	1	-	2	2	5	6	1	2	8
VANT	PAC50	1	1	1	2	3	8	2	4	5
VANT	PH75	1	1	1	2	5	6	2	-	9
IFQ	PH75	1	-	2	6	2	5	1	6	4
VANT	PAC75	1	-	2	3	1	9	2	2	7
VANT	CV% (h)	1	1	1	5	4	4	9	1	1
IFQ	CV% (h)	1	-	2	6	5	2	6	4	1
VANT	CV% (Ac)	2	-	1	2	7	4	9	-	2
VANT	G (h)	1	1	1	5	5	3	10	-	1
IFQ	G (h)	1	-	2	4	5	4	8	2	1
VANT	G (Ac)	1	1	1	2	9	2	8	1	2

LEGENDA: Fonte é fonte de variação; C1 é classe 1; C2 é classe 2; C3 é classe 3. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*. PH25, PH50 e PH75 são o percentual acumulado da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; PAC25, PAC50 e PAC75 são o percentual acumulado da área de copa em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

Os resultados do teste X^2 revelaram que quando comparadas as frequências de parcelas dos índices calculados com base na variável altura do IFQ (F_o) e as frequências de parcelas dos índices obtidos com base na variável área de copa (VANT) (F_e), apenas as combinações “PH25 x PAC25”, “PH50 x PAC50” e “G x G” mostraram não haver diferença entre os métodos ao nível de significância de 5%, por isso para esses casos a hipótese H_0 não foi rejeitada.

Quando comparadas as frequências de parcelas dos índices obtidos a partir da variável altura do IFQ (F_o) e da variável altura corrigida extraída por VANT (F_e), para cada um dos índices, o *p-valor* foi superior a 0,05, o que indica que não há diferença significativa entre os métodos. Sendo assim, os índices de uniformidade calculados com as alturas extraídas por VANT podem ser utilizados, pois não diferem estatisticamente dos índices calculados com as alturas obtidas em campo (TABELA 16).

TABELA 16 - RESULTADO DO TESTE χ^2 UTILIZANDO AS FREQUÊNCIAS DE PARCELAS NAS CLASSES DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE DE PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Índice IFQ x VANT	p-valor	Teste	Índice IFQ x VANT	p-valor	Teste
PH25 x PH25	0,3055	NS 5%	PH25 x PAc25	0,2203	NS 5%
PH50 x PH50	0,7236	NS 5%	PH50 x PAc50	0,6437	NS 5%
PH75 x PH75	0,1023	NS 5%	PH75 x PAc75	0,0294	S 5%
CV% x CV%	0,1202	NS 5%	CV% x CV%	0,0110	S 5%
G x G	0,5524	NS 5%	G x G	0,4005	NS 5%

LEGENDA: NS é não significativo; S é significativo. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*. PH25, PH50 e PH75 são o percentual acumulado da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; PAc25, PAc50 e PAc75 são o percentual acumulado da área de copa em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

Com isso, a área de copa não é uma variável apropriada para a obtenção da uniformidade dos plantios quando em comparação com a variável altura. A proposta da utilização do fator de correção por classe de tamanho (R_j) para correção das alturas extraídas por VANT se mostrou satisfatória e pode ser utilizada como alternativa em situações em que as alturas são subestimadas.

3.5.3 Cenário II: medidas de uniformidade VANT

Nesse segundo cenário, foi utilizada uma maior intensidade amostral VANT, em que foram utilizadas 20, 30 e 30 parcelas nos plantios AIB, CCA e CFL, respectivamente. Após a extração das alturas das árvores presentes nessas parcelas, em cada um dos plantios as alturas foram classificadas dentro das classes de tamanho estabelecidas no cenário I. As alturas corrigidas por classe de tamanho foram obtidas por meio da aplicação do fator de correção (R_j) obtido no cenário I (TABELA 10).

Na Tabela 17 estão expressas as estatísticas descritivas da variável altura extraída por VANT, antes e após essa correção. Observa-se que em todos os plantios houve aumento do desvio padrão da variável corrigida, porém as médias ficaram próximas aos valores obtidos do inventário em campo, bem como os valores máximos e mínimos. No entanto, no plantio CCA o valor máximo da altura continuou elevado, assim como no primeiro cenário, devido ao valor alto do fator de correção utilizado para corrigir a primeira classe de tamanho.

TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA, ANTES E APÓS A CORREÇÃO, EXTRAÍDA POR VANT EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Est.	h (m) IFQ			h (m) VANT			hcorr (m) VANT		
	AIB	CCA	CFL	AIB	CCA	CFL	AIB	CCA	CFL
Mín.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Méd.	6,10	5,68	5,01	3,04	1,94	1,59	5,38	6,05	4,66
Máx.	8,10	7,10	7,00	7,12	7,60	3,89	9,46	16,63	8,84
Desvio	2,14	0,94	1,38	2,04	1,69	0,95	2,66	3,56	1,98

LEGENDA: h é altura (m); hcorr é altura corrigida; Est. é estatística; Mín. é o valor mínimo da variável; Méd. é valor médio da variável; Máx. é o valor máximo da variável; Desvio é o desvio padrão da variável. CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

As alturas corrigidas foram utilizadas para o cálculo os índices de uniformidade selecionados pelo teste X^2 , sendo eles o PH25, PH50, PH75, CV% e G. Após o cálculo dos índices, os valores foram padronizados para que todos se encontrassem dentro de um mesmo intervalo de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 correspondem a máxima uniformidade do plantio (TABELA 18).

TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE ANTES E APÓS A PADRONIZAÇÃO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE.

Plantio	Índice	Índice				Índice Padronizado			
		Mín.	Méd.	Máx.	Desvio	Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	PH25	0,00	0,20	0,23	0,07	0,00	0,56	0,93	0,30
	PH50	0,19	0,38	0,48	0,09	0,38	0,76	0,95	0,17
	PH75	0,49	0,65	0,73	0,07	0,65	0,87	0,98	0,09
	CV%	3,65	18,89	59,45	16,42	0,39	0,80	0,96	0,17
	G	0,03	0,16	0,43	0,12	0,57	0,84	0,97	0,12
CCA	PH25	0,00	0,10	0,22	0,07	0,00	0,39	0,88	0,28
	PH50	0,04	0,30	0,46	0,01	0,08	0,60	0,91	0,20
	PH75	0,34	0,56	0,70	0,09	0,45	0,75	0,94	0,12
	CV%	5,62	45,06	77,36	18,11	0,20	0,53	0,94	0,19
	G	0,03	0,28	0,57	0,13	0,43	0,72	0,97	0,13
CFL	PH25	0,00	0,12	0,21	0,07	0,00	0,48	0,85	0,29
	PH50	0,06	0,35	0,44	0,10	0,12	0,70	0,89	0,20
	PH75	0,26	0,63	0,71	0,09	0,35	0,84	0,94	0,12
	CV%	8,53	23,02	96,73	18,46	0,00	0,76	0,91	0,19
	G	0,05	0,20	0,61	0,13	0,39	0,80	0,95	0,13

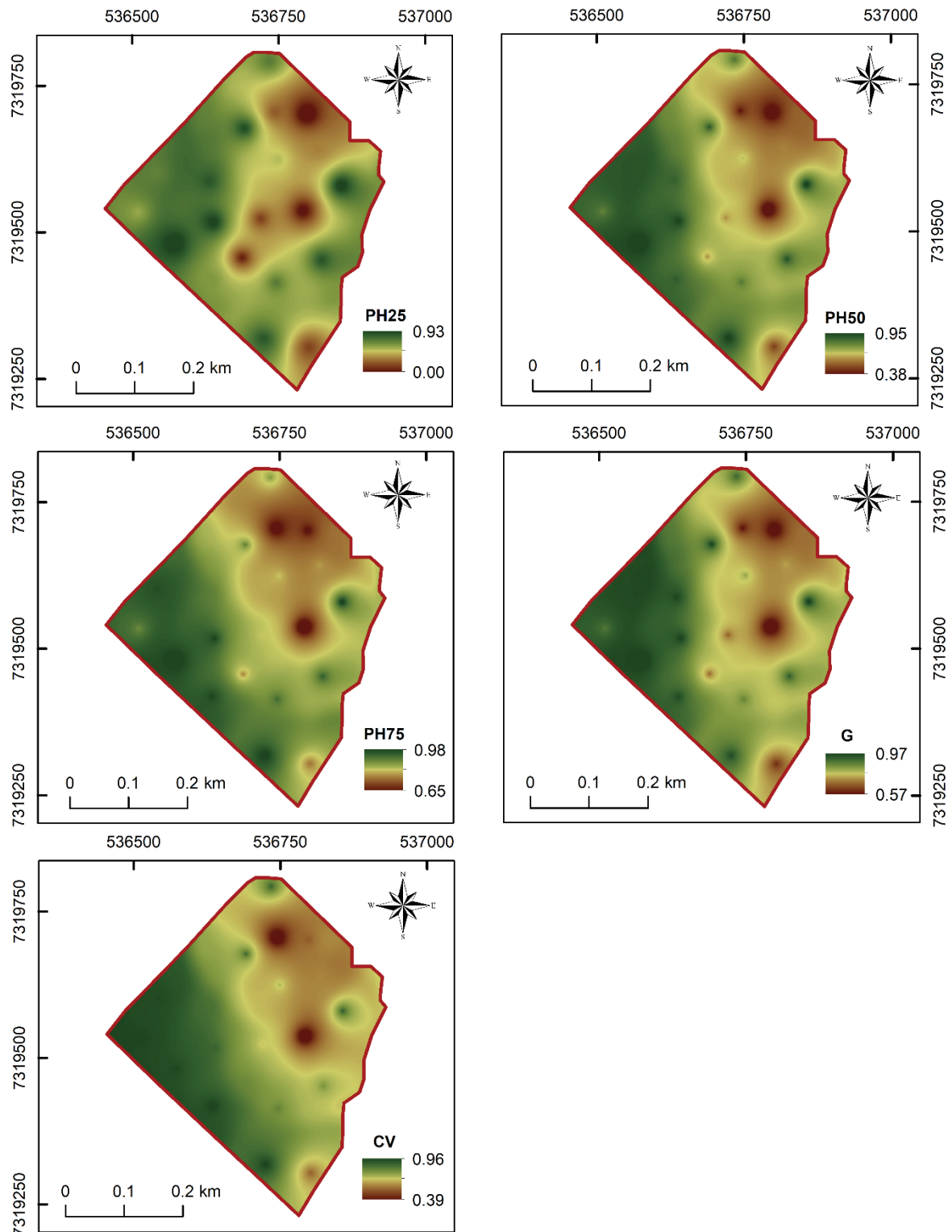
LEGENDA: Mín. é o valor mínimo do índice; Méd. é valor médio do índice; Máx. é o valor máximo do índice; Desvio é o desvio padrão do índice. CCA é plantio de *Eucalyptus saligna* Sm.; AIB e CFL são plantios de *Eucalyptus grandis* W. Hill x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. PH25, PH50 e PH75 são o percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV% é coeficiente de variação em percentagem e G é coeficiente de Gini.

Desse modo, com o intuito de não apenas ter medidas de uniformidade dos plantios, mas também visualizar essas medidas espacialmente, foi gerada a superfície espacializada de cada índice nos plantios AIB (FIGURA 8), CCA (FIGURA 9) e CFL (FIGURA 10).

Com a espacialização dos índices podem ser visualizadas as áreas de maior e menor concentração da uniformidade nos plantios, segundo cada índice. Nesses *layers* foi feita a representação em um gradiente de uniformidade que corresponde ao intervalo que vai desde o valor mínimo até o valor máximo encontrado para cada índice.

As áreas representadas pela cor verde correspondem às regiões de máxima uniformidade do plantio, já as áreas representadas pela coloração vermelha correspondem a regiões de menor uniformidade obtida pelo índice.

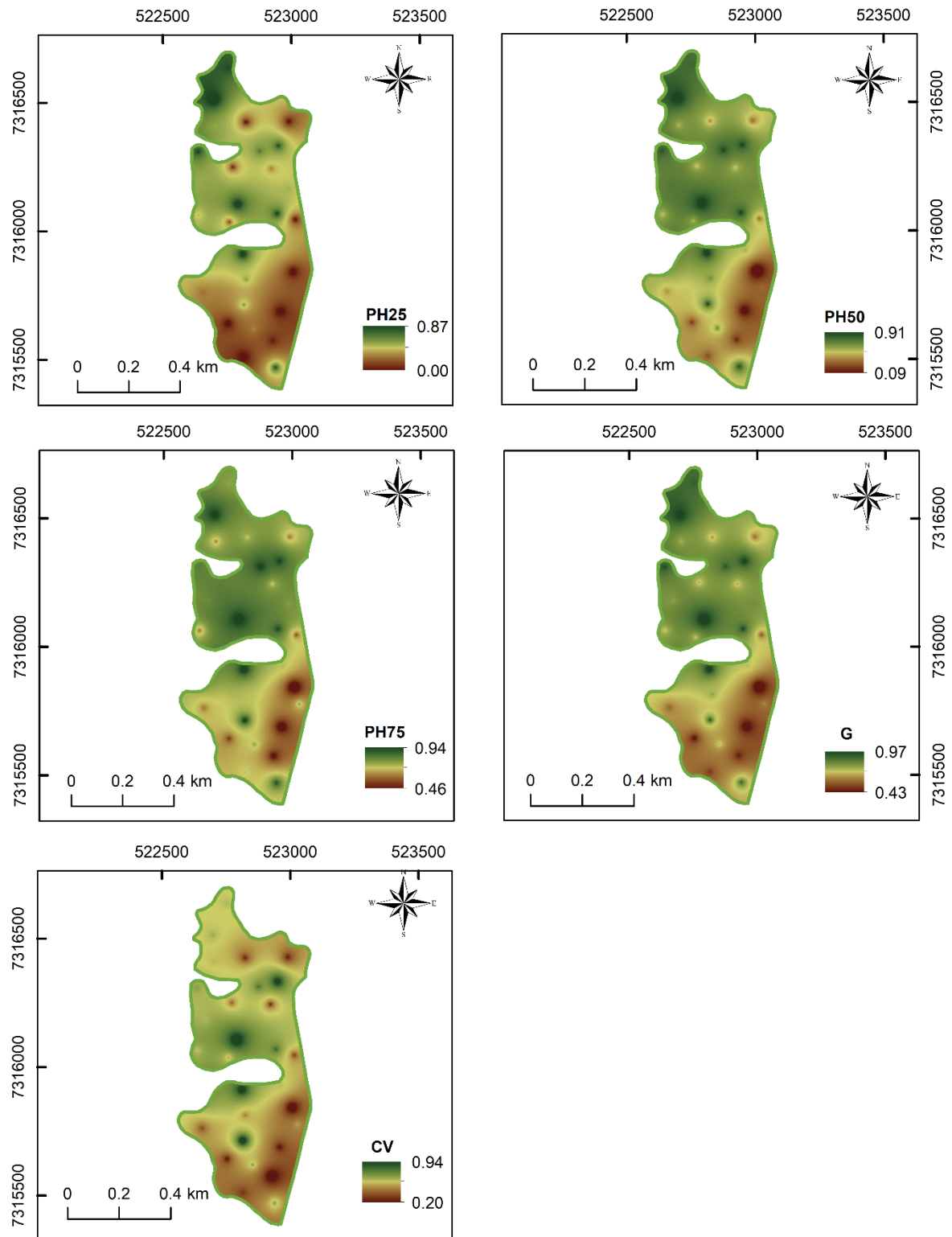
FIGURA 8 – ESPACIALIZAÇÃO DOS NDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO AIB (*E. grandis* x *E. urophylla*) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: PH25, PH50 e PH75 são os índices padronizados, correspondentes ao percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV é coeficiente de variação em percentagem padronizado; G é coeficiente de Gini padronizado; AIB é plantio de *E. grandis* x *E. urophylla*.

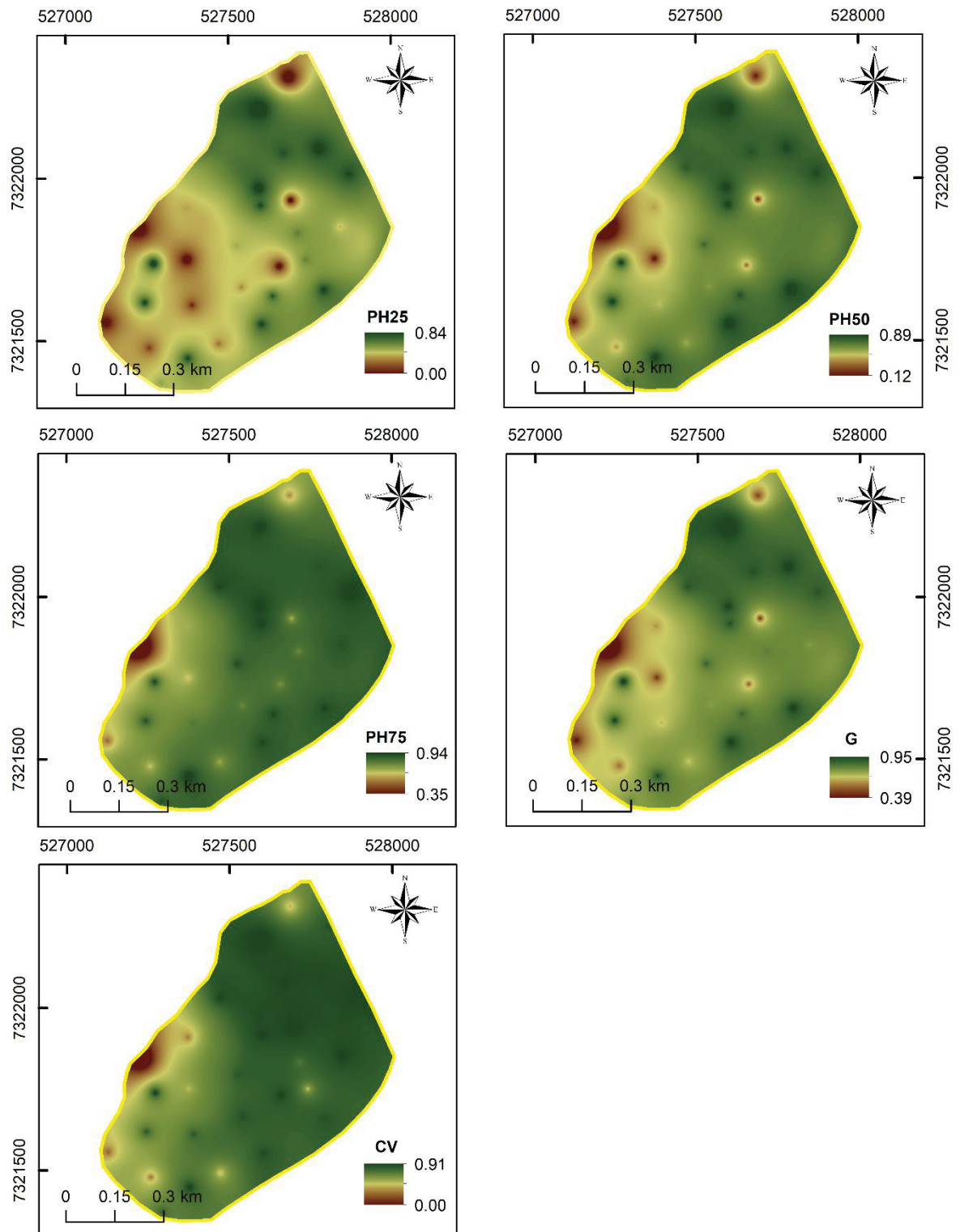
FIGURA 9 - ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO CCA (*E. saligna*) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: PH25, PH50 e PH75 são os índices padronizados, correspondentes ao percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV é coeficiente de variação em percentagem padronizado; G é coeficiente de Gini padronizado; CCA é plantio de *E. saligna*.

FIGURA 10 - ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE OBTIDOS PARA O PLANTIO CFL (*E. grandis* X *E. urophylla*) SITUADO NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: PH25, PH50 e PH75 são os índices padronizados, correspondentes ao percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV é coeficiente de variação em percentagem padronizado; G é coeficiente de Gini padronizado; CFL é plantio de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Como o procedimento de espacialização dos índices se trata de uma interpolação, na Tabela 19 estão apresentadas as estatísticas desses índices após esse processo. Observa-se que de modo geral, os maiores valores de uniformidade foram obtidos pelos índices G e CV%, seguido dos índices PH75, PH50 e PH25.

Sugere-se que esse padrão esteja relacionado aos dados utilizados para o cálculo desses índices. Para o cálculo do PH25, PH50 e PH75, foram utilizadas respectivamente 25%, 50% e 75% das menores alturas obtidas nas parcelas, considerando as falhas de plantio. Já para o cálculo do CV% e o G foi utilizado o banco de dados completo, com exceção das falhas. Nesse contexto, entende-se que os PH apresentam valores menores quando em comparação com os demais índices por utilizarem no seu cálculo parte do banco de dados (os menores valores do banco de dados) e ainda considerarem as falhas de plantio.

TABELA 19 - ESTATÍSTICAS DOS ÍNDICES DE UNIFORMIDADE PADRONIZADOS OBTIDOS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp., APÓS A GERAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

		Estatísticas			
Plantio	índice	Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	PH25	0,00	0,57	0,93	0,15
	PH50	0,38	0,76	0,95	0,08
	PH75	0,65	0,87	0,98	0,04
	CV%	0,39	0,80	0,96	0,09
	G	0,57	0,84	0,97	0,05
CCA	PH25	0,00	0,38	0,88	0,11
	PH50	0,09	0,60	0,91	0,08
	PH75	0,47	0,75	0,94	0,04
	CV%	0,20	0,54	0,94	0,06
	G	0,43	0,72	0,97	0,06
CFL	PH25	0,00	0,48	0,84	0,09
	PH50	0,12	0,70	0,89	0,07
	PH75	0,35	0,84	0,94	0,04
	CV%	0,00	0,77	0,91	0,08
	G	0,39	0,80	0,95	0,05

LEGENDA: PH25, PH50 e PH75 são os índices padronizados, correspondentes ao percentual acumulada da altura em 25%, 50% e 75% das menores árvores plantadas; CV é coeficiente de variação em percentagem padronizado; G é coeficiente de Gini padronizado; Mín. é o valor mínimo na superfície; Méd. é valor médio na superfície; Máx. é o valor máximo na superfície; Desvio é o desvio padrão dos valores na superfície; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Considerando os gradientes de uniformidade dos índices, para poder classificar as regiões de uniformidade com maior clareza, em cada um dos plantios os *layers* contendo os índices foram integrados de modo a gerar uma única superfície de uniformidade (SU).

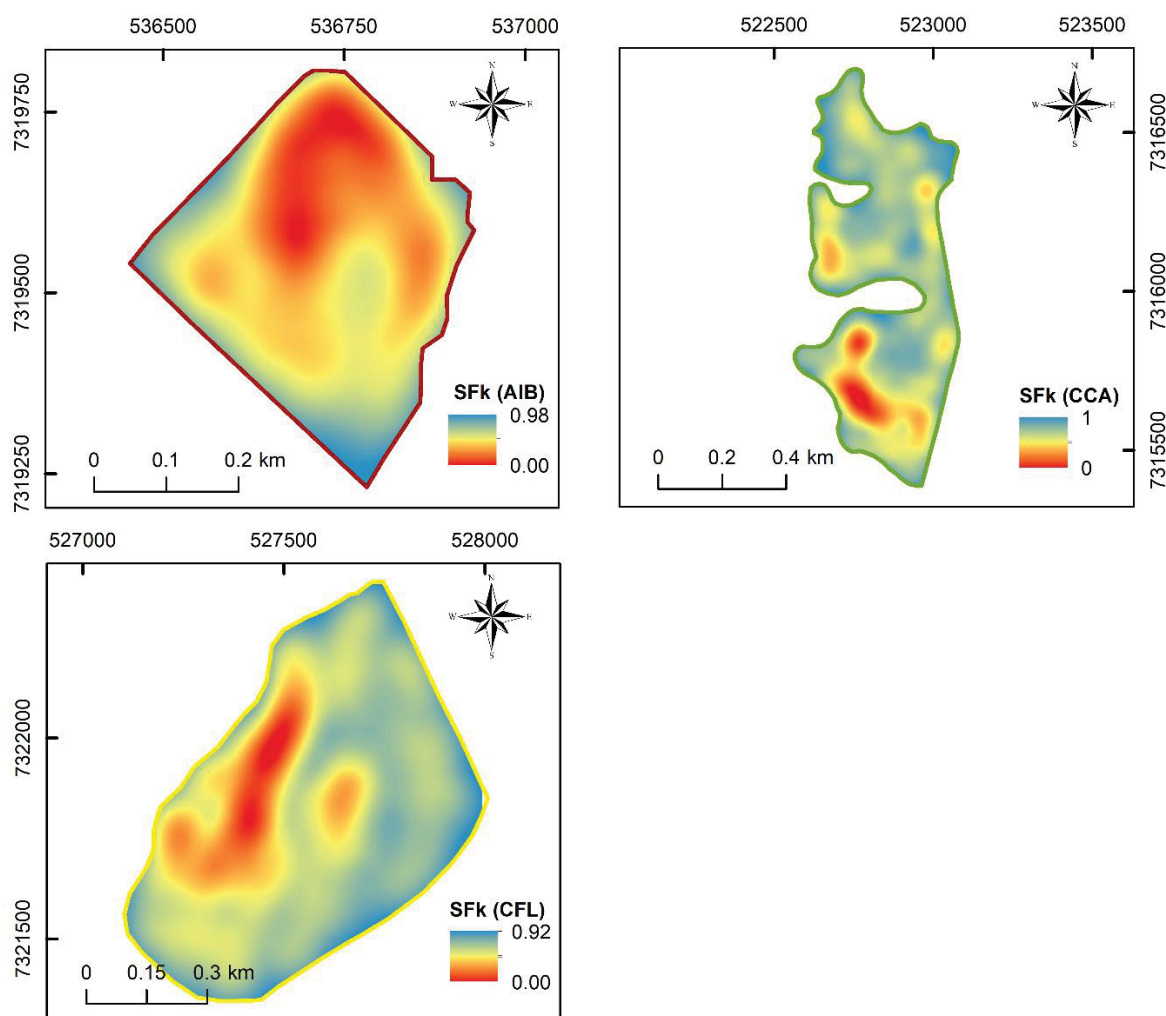
Como a sobrevivência é um fator que também influencia na estrutura do povoamento, e como alguns índices não consideram as falhas de plantio no seu cálculo, foi realizada uma segunda matemática de bandas em que foi acrescentada a superfície de falhas Kernel padronizada (SFk) para gerar a superfície de uniformidade considerando a sobrevivência (SUf).

Os índices de uniformidade, mesmo os que consideram as falhas do plantio em seu cálculo, medem principalmente o grau de uniformidade das alturas dentro das parcelas. Sendo assim, em levantamento onde as alturas das parcelas forem baixas, não apresentando alta variação entre si, os índices de uniformidade terão um valor alto. Por isso, acrescentar uma medida que considere as falhas de plantio é uma forma de ponderar a uniformidade e pode fornecer uma medida mais exata do grau da qualidade do povoamento.

Desse modo, a geração da superfície de falhas Kernel padronizada (SFk) permitiu a identificação de um gradiente de falhas ao longo da área de cada plantio. Na Figura 11 podem ser visualizadas as concentrações de falhas nos plantios AIB, CCA e CFL, onde valores mais próximos a zero (vermelho) representam regiões com baixa sobrevivência e valores próximos a 1 refletem locais com alta sobrevivência (azul).

Observa-se que o plantio AIB apresenta falhas distribuídas por grande parte da área produtiva. Já nos plantios CCA e CFL elas estão concentradas em alguns pontos. Os valores das estatísticas dessas superfícies antes e após a padronização são expressos na Tabela 20.

FIGURA 11 - SUPERFÍCIES DE FALHAS KERNEL PADRONIZADAS GERADAS PARA INDICAR OS LOCAIS DE MAIOR E MENOR SOBREVIVÊNCIA EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: SFk é superfície de falhas Kernel padronizada; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 20 – ESTATÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DE FALHAS KERNEL ANTES E APÓS A PADRONIZAÇÃO, OBTIDAS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Plantio	Superfície de Falhas (ha)				Superfície Padronizada (0-1)			
	Mín.	Méd.	Máx.	Desvio	Mín.	Méd.	Máx.	Desvio
AIB	4	101	173	37	0,00	0,42	0,98	0,22
CCA	0	34	101	17	0,00	0,66	1,00	0,17
CFL	19	108	249	46	0,00	0,57	0,92	0,18

LEGENDA: Mín. é o valor mínimo na superfície; Méd. é valor médio na superfície; Máx. é o valor máximo na superfície; Desvio é o desvio padrão dos valores na superfície. LEGENDA: CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Levando em consideração os intervalos dos índices, as duas superfícies de uniformidade geradas (SU e SU_F) foram classificadas em 3 classes de uniformidade, sendo elas expressas na Tabela 21.

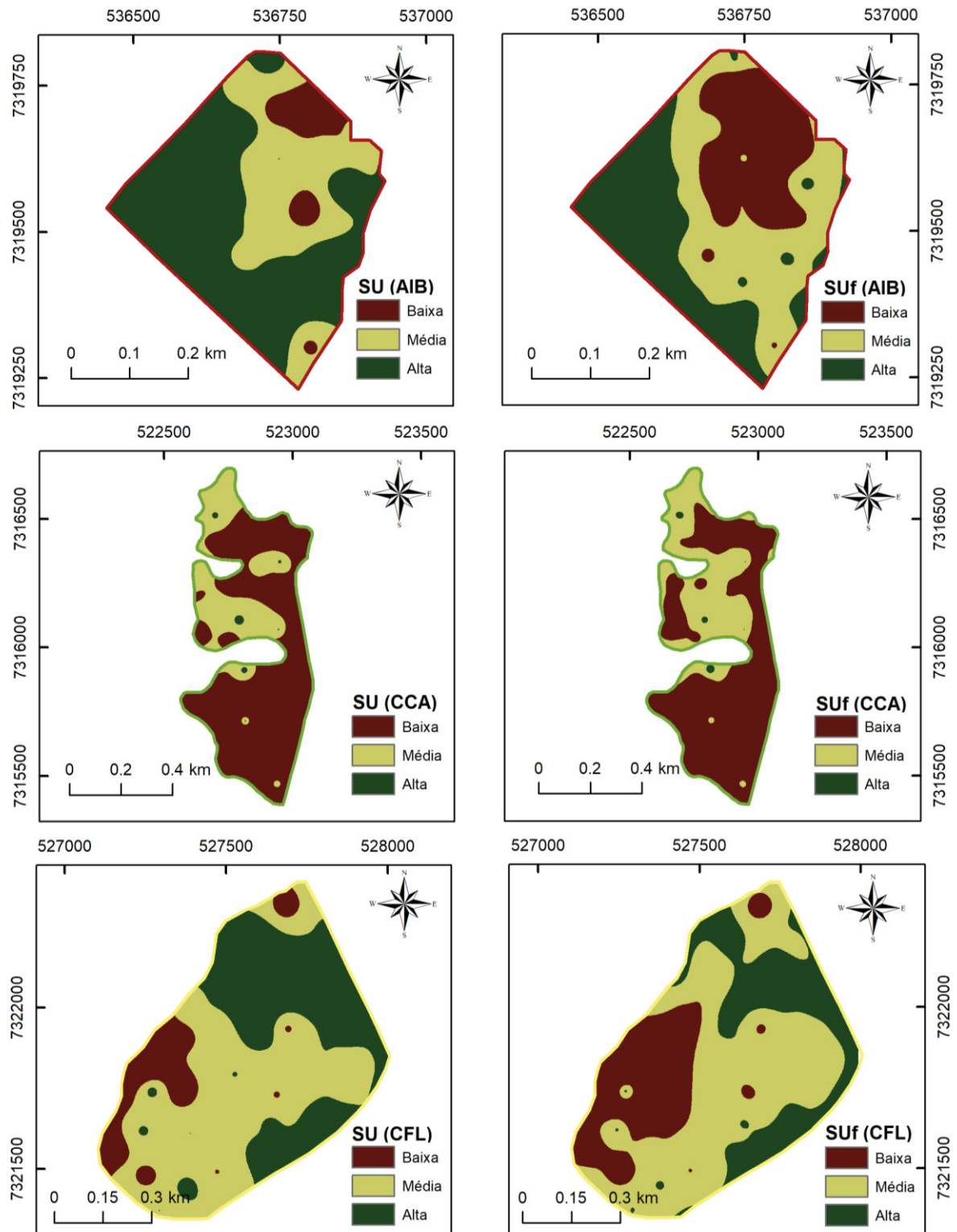
TABELA 21 - CLASSES DE UNIFORMIDADE UTILIZADAS PARA CLASSIFICAR A UNIFORMIDADE DAS ÁREAS PRODUTIVAS DE PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

Classes	C1	C2	C3
Descrição	Baixa	Média	Alta
Intervalo	< 0,65	0,65 - 0,75	> 0,75

Os *layers* provenientes da álgebra de mapas encontram-se na Figura 12, onde SU corresponde a superfície de uniformidade obtida da média de todos os índices de uniformidade, e SU_F corresponde a superfície de uniformidade obtida da média dos índices de uniformidade e a superfície de falhas Kernel padronizada.

As regiões destacadas pela coloração verde correspondem a classe de uniformidade alta (C3), onde as superfícies de uniformidade (SU e SU_F) apresentaram valores acima de 0,75. Já as regiões em amarelo correspondem a classe de uniformidade média (C2), com valores de uniformidade entre 0,65 e 0,75 e os locais em marrom correspondem a classe de uniformidade baixa (C1), com valor abaixo de 0,65.

FIGURA 12 - SUPERFÍCIES DE UNIFORMIDADE SU E SU_f OBTIDAS PARA PLANTIOOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE

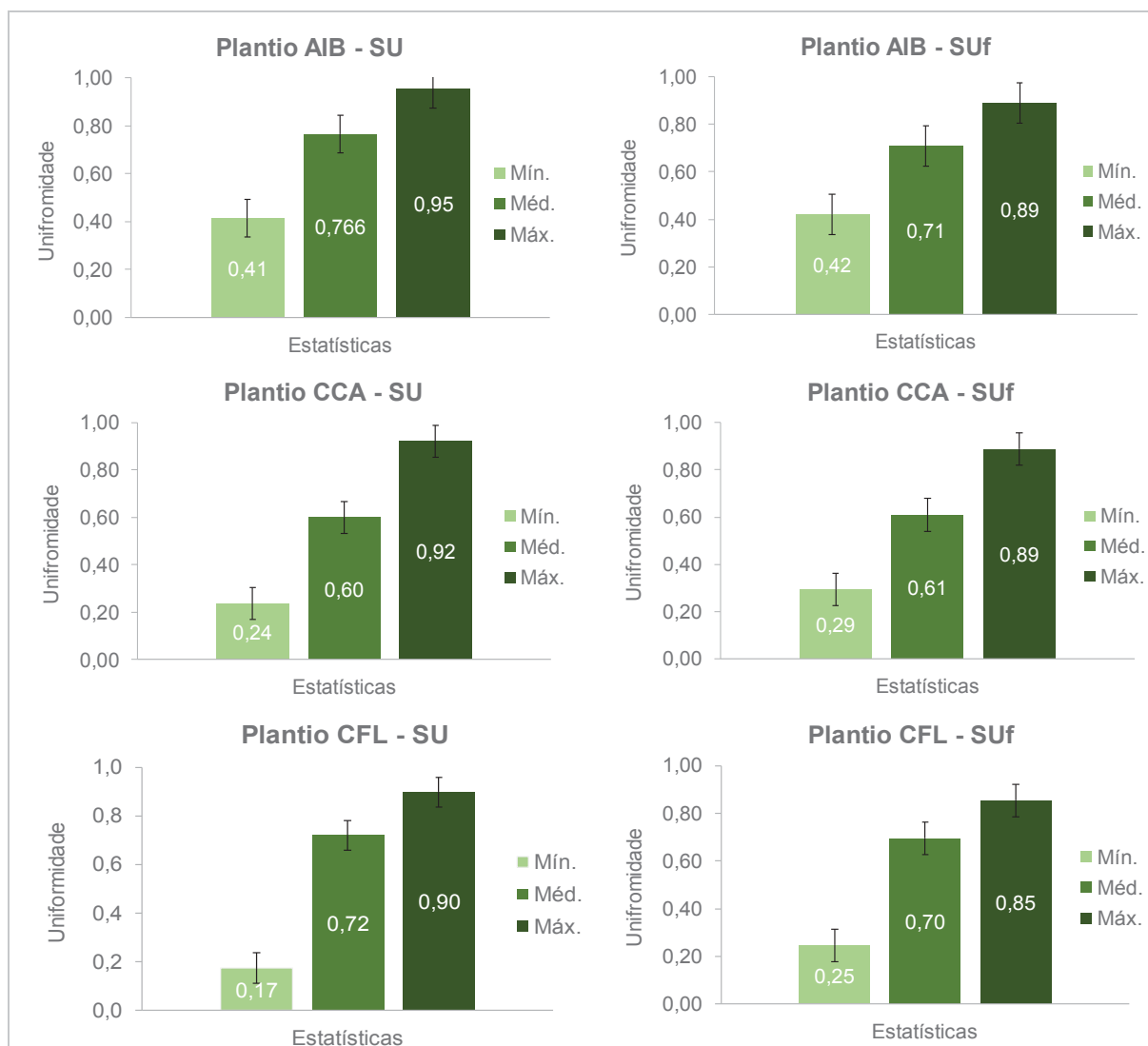


FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: SU é o layer com a matemática de bandas envolvendo a média de todos os índices calculados; SU_f é a matemática de bandas envolvendo a média dos índices de uniformidade e a superfície de falhas Kernel padronizada (SFk); CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Na Figura 13, para cada um dos plantios estão apresentadas graficamente as estatísticas descritivas da superfície de uniformidade com falhas (SU_f), resultado da matemática de bandas envolvendo a média de todos os índices calculados com a superfície de falhas Kernel, e da superfície de uniformidade sem falhas (SU), resultado da matemática de bandas envolvendo a média de todos os índices. Na Figura 14 está apresentada graficamente a área ocupada por cada uma das classes de uniformidade nos plantios AIB (*E. grandis* x *E. urophylla*), CCA (*E. saligna*) e CFL (*E. grandis* x *E. urophylla*).

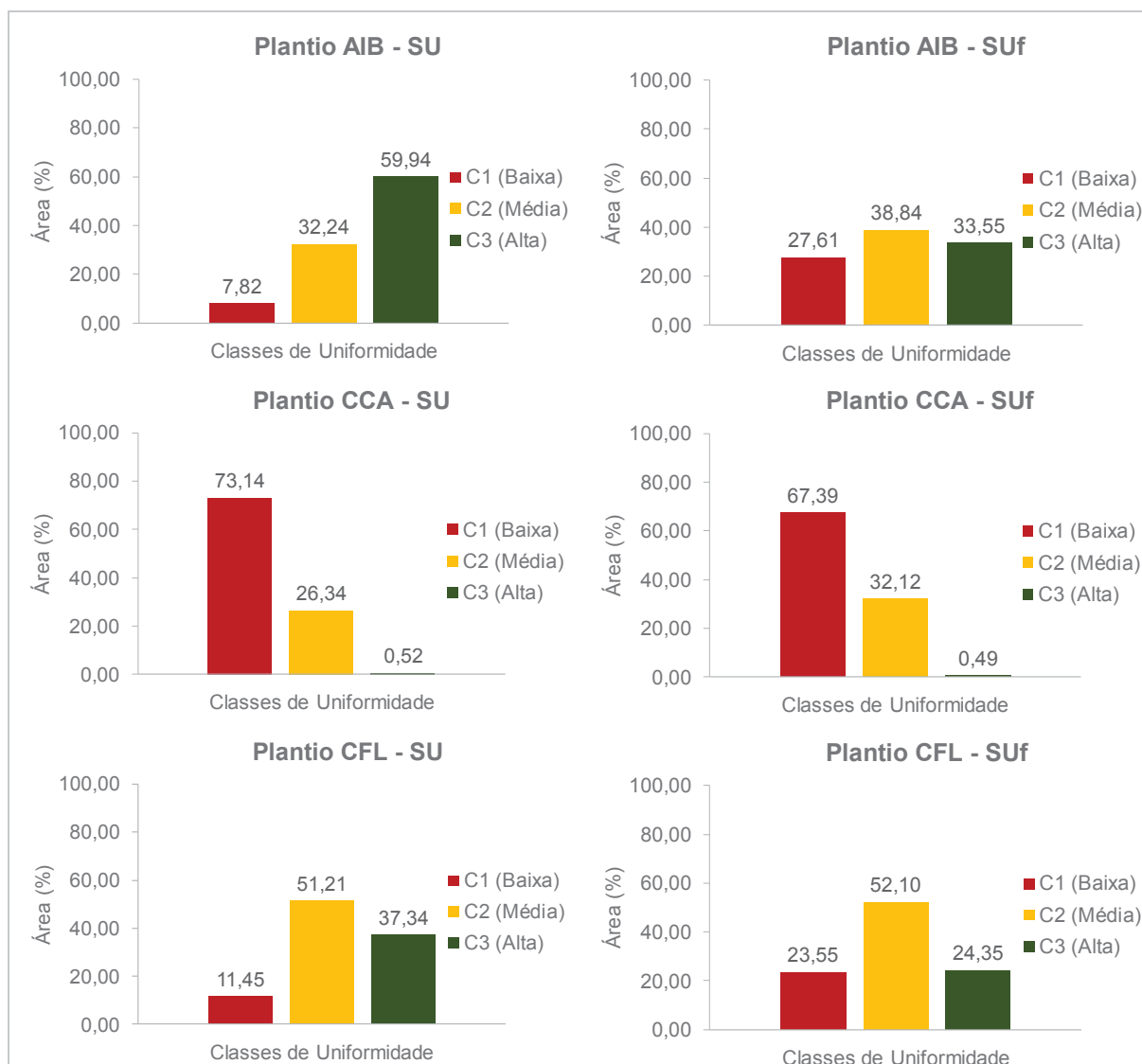
FIGURA 13 - ESTATÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DE UNIFORMIDADE OBTIDAS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: SU é o *layer* com a matemática de bandas envolvendo a média de todos os índices calculados sem a superfície de falhas Kernel; SU_f é o *layer* com a matemática de bandas envolvendo a média dos índices de uniformidade e a superfície de falhas Kernel; Mín. é o valor mínimo na superfície; Méd. é valor médio na superfície; Máx. é o valor máximo na superfície; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

FIGURA 14 - CLASSES DE UNIFORMIDADE DOS PLANTIOS E SUAS RESPECTIVAS ÁREAS OBTIDAS PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus* sp. SITUADOS NO CENTRO-LESTE PARANAENSE



FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: SU é o *layer* com a matemática de bandas envolvendo a média de todos os índices calculados sem a superfície de falhas Kernel; SU_f é o *layer* com a matemática de bandas envolvendo a média dos índices de uniformidade e a superfície de falhas Kernel; C1 é classe de uniformidade baixa, C2 é classe de uniformidade média; C3 é classe de uniformidade alta; CCA é plantio de *E. saligna*; AIB e CFL são plantios de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Quando considerada a superfície de uniformidade (SU), o plantio AIB (*E. grandis* x *E. urophylla*) foi o que apresentou a maior uniformidade no plantio, com 8,84 ha (59,94%) da área produtiva correspondente a classe de uniformidade mais alta (C3). No plantio CFL (*E. grandis* x *E. urophylla*) 27,75 ha (51,21%) da área produtiva do plantio foram consideradas como de uniformidade média. Já no plantio CCA (*E. saligna*) a uniformidade do plantio foi considerada baixa, onde a maior parte da área produtiva foi classificada como de uniformidade baixa 28,08 ha (73,14%).

Quando considerada a superfície de uniformidade com as falhas de plantio (SU_f), o grau de uniformidade foi reduzido nos plantios AIB e CFL, ambos plantios com clones de *E. grandis* x *E. urophylla*. Nesses plantios, as áreas classificadas com uniformidade baixa (C1) e média (C2) aumentaram e as áreas de alta uniformidade (C3) diminuíram.

No entanto, no plantio CCA (*E. saligna*) a uniformidade aumentou, mesmo com a diminuição da área presente na classe de uniformidade alta (C3) para 0,19 ha (0,49%), a diminuição da área presente na classe de uniformidade baixa (C1), que passou a ser de 25,87 ha (67,39%) foi maior, e com isso houve um aumento da área presente na classe de uniformidade média (C2), que passou a ser de 12,33 ha (32,12%).

Esses resultados demonstram que a maior diferenciação entre as alturas das árvores está presente no plantio CCA, seguido dos plantios CFL e AIB. A alta concentração de falhas ao longo do plantio ou em alguns pontos podem comprometer a uniformidade, visto que algumas das regiões dos plantios classificadas como de baixa uniformidade são também locais de menor sobrevivência.

Desse modo, a atenção do manejo deve ser voltada as classes de uniformidade média e baixa, pois são essas regiões que apresentam maior diferenciação entre as alturas das árvores e também menor sobrevivência, o que pode indicar que as árvores estabelecidas nesses locais, estão enfrentando alta competição por nutrientes, e que o replantio não foi suficiente ou as árvores estão sofrendo algum tipo de estresse como matocompetição ou ataque de pragas.

Por isso, é sugerida a avaliação da uniformidade juntamente com relatórios silviculturais que apresentem dados de replantio, fertilização, controle de pragas e controle da matocompetição. Assim, a utilização em conjunto das superfícies de uniformidade e dados de campo podem fornecer uma ideia mais exata do que realmente está influenciando a uniformidade do povoamento e possibilitar que sejam tomadas medidas mais assertivas com vistas a aumentar a qualidade dos plantios.

3.6 CONCLUSÕES

- Os resultados das estimativas de sobrevivência com a utilização do modelo de razão demonstram que não há diferenças significativas entre os métodos VANT e inventário florestal de qualidade (IFQ), por isso as falhas de plantio

obtidas por VANT podem ser utilizadas eficientemente na estimativa de sobrevivência de plantios de *Eucalyptus* sp.

- A integração dos índices espacializados para a geração das superfícies de uniformidade (SU e SUf) e a classificação dessas superfícies em classes de uniformidade, permitiram uma visão mais ampla e clara do grau de uniformidade dos plantios.
- A utilização das superfícies de falhas obtidas por meio do método Kernel (SFk) na geração das superfícies de uniformidade (SUf), favoreceu uma interpretação da estrutura dos plantios mais condizente com a realidade, bem como permitiu identificar as áreas que precisam de maior atenção do manejo silvicultural.

3.7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para pesquisas futuras deve ser considerado que:

- A extração de alturas por meio de VANT pode apresentar limitações em plantios onde há sobreposição das copas das árvores. Por isso, recomenda-se que trabalhos futuros que façam uso da tecnologia VANT para extração dessa variável, utilizem o modelo digital do terreno (MDT) obtido antes do estabelecimento do plantio ou o MDT proveniente de *Light Detection and Ranging* (LiDAR).
- Para garantir que os produtos cartográficos utilizados na extração das alturas sejam satisfatórios, a qualidade dos voos VANT é um fator importante que deve ser levado em consideração. Sendo assim, recomenda-se que o planejamento e execução dos voos sejam realizados de acordo com o objetivo do levantamento, considerando a altura de voo, sobreposição longitudinal e lateral de imagens, condições climáticas e de iluminação, entre outros fatores.
- A utilização do fator de correção (R) para as alturas extraídas por VANT foi uma alternativa satisfatória nesse trabalho, porém são necessários mais estudos que avaliem a utilização dessa técnica em outros cenários, tais como diferentes intensidades amostrais, ambientes e/ou espécies.
- Ainda são necessários mais estudos em que as superfícies de uniformidade (SU e SUf) sejam utilizadas em conjunto com relatórios silviculturais de modo a melhorar o entendimento do comportamento da uniformidade dos plantios.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, S. A.; ACKERMAN, P. A.; SEIFERT, T. Effects of irregular stand structure on tree growth, crown extension and branchiness of plantation-grown *Pinus patula*. **Southern Forests**, v. 75, n. 4, p. 247–256, 2013.
- ASPINWALL, M. J.; KING, J. S.; MCKEAND, S. E.; BULLOCK, B. P. Genetic effects on stand-level uniformity and above-and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 4, p. 609–619, 2011.
- BINKLEY, D. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2 - 3, p. 265 - 271, 2004.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1704 - 1713, 2010.
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BARNARD, H. R.; FOWNES, J. Age-related decline in forest ecosystem growth: An individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, v. 5, n. 1, p. 58 - 67, 2002.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5 ed., 636 p., Viçosa, MG, UFV, 2017.
- GOMES, I. S.; CAMINHA, I. DE O. Guia para estudos de revisão sistemática: uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano. **Movimento**, v. 20, n. 1, p. 395 - 411, 2014.
- GONÇALVES, J. L. de M.; ALVARES, C. A.; BEHLING M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; A. A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**. v. 42, n. 103, p. 411 - 419, 2014.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J.-P.; BOUILLET, J.-P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing *Eucalyptus* plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 105 - 118, 2008.
- HAKAMADA, R. E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em povoamentos clonais de *Eucalyptus***. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP, 2012.
- HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; DE LEMOS, C. C. Z.; ALMEIDA, A. E. A.; SILVA, L. F. Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 27 - 36, 2015a.

HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; DE LEMOS, C. C. Z.; ALMEIDA, A. E. A.; SILVA, L. F. Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em *Eucalyptus* clonais. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 465 - 472, 2015b.

HENTZ, Â. M. K.; SILVA, C. A.; DALLA CORTE, A. P.; et al. Estimating forest uniformity in *Eucalyptus* spp. and *Pinus taeda* L. stands using field measurements and structure from motion point clouds generated from unmanned aerial vehicle (UAV) data collection. **Forest Systems**, v. 27, n. 2, p. 1 - 17, 2018.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2017**. 2017.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2019**. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: Telêmaco Borba, PR**. 2019a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ortigueira/panorama>>. Acesso em: 20 de nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: Ortigueira, PR**. 2019b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ortigueira/panorama>>. Acesso em: 20 de nov. 2019.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais: mesorregiões geográficas**. Curitiba: IPARDES, 2004.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG). **Solos**: Estado do Paraná. 2008a. Disponível em: <http://http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG). **Clima**: Estado do Paraná. 2008b. Disponível em: <http://http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LUU, T. C.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Neighborhood uniformity increases growth of individual *Eucalyptus* trees. **Forest Ecology and Management**, v. 289, p. 90 - 97, 2013.

MCGOWN, K. I.; O'HARA, K. L.; YOUNGBLOOD, A. Patterns of size variation over time in ponderosa pine stands established at different initial densities. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 46, n. 1, p. 101 - 113, 2016.

PÉLLICO NETTO, S.; BEHLING, A. Additivity of tree biomass components using ratio estimate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 31 p., 2019.

RESENDE, R. T.; MARCATTI, G. E.; PINTO, D. S.; et al. Intra-genotypic competition of *Eucalyptus* clones generated by environmental heterogeneity can optimize

productivity in forest stands. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 50 - 58, 2016.

RESENDE, R. T.; SOARES, A. A. V.; FORRESTER, D. I.; et al. Environmental uniformity, site quality and tree competition interact to determine stand productivity of clonal *Eucalyptus*. **Forest Ecology and Management**, v. 410, p. 76 - 83, 2018.

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; et al. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1695 - 1703, 2010.

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV flight experiments applied to the Remote Sensing of vegetated areas. **Remote Sensing**, v. 6, p. 11051 - 11081, 2014.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; PELISSARI, A. L.; TOMÉ, M.; MAAS, G. C. B.; SANQUETTA, M. N. I. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas plantadas brasileiras: 1990-2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, p. 152 - 160, 2018.

SHARMA, R. K.; MASON, E. G.; SORENSSON, C. T. Productivity of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.) clones in monoclonal and clonal mixture plots at age 12 years. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 140 - 148, 2008.

SOARES, A. A. V.; LEITE, H. G.; CRUZ, J. P.; FORRESTER, D. I. Development of stand structural heterogeneity and growth dominance in thinned *Eucalyptus* stands in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 384, p. 339 - 346, 2017.

SOARES, A. A. V.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; et al. Increasing stand structural heterogeneity reduces productivity in Brazilian *Eucalyptus* monoclonal stands. **Forest Ecology and Management**, v. 373, p. 26 - 32, 2016.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; et al. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684 - 1694, 2010.

SUN, H.; DIAO, S.; LIU, R.; et al. Relationship between size inequality and stand productivity is modified by self-thinning, age, site and planting density in *Sassafras tzumu* plantations in central China. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p. 199 - 206, 2018.

TORRESAN, C.; BERTON, A.; CAROTENUTO, F.; et al. Forestry applications of UAVs in Europe: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8 - 10, p. 2427 - 2447, 2017.

TRAUTENMÜLLER, J. W. **Correlações e estimadores de biomassa acima do solo em florestas no sul do Brasil**, 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.

YÁÑEZ, M. A.; FOX, T. R.; SEILER, J. R. Silvicultural intensity and site effects on stand uniformity of loblolly pine varieties and families. **Forest Science**, v. 63, p. 606 - 613, 2017.

ZEILEIS, A.; KLEIBER, C. **Package 'ineq' - Measuring Inequality, Concentration, and Poverty**, 2014. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ineq/ineq.pdf>>.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agric**, v. 13, p. 693 - 712, 2012.